

Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого  
Институт компьютерных наук и технологий  
Кафедра компьютерных систем и программных технологий

# Телекоммуникационные технологии

Отчет по лабораторной работе №6

Цифровая модуляция

**Работу**

**выполнил:**

Чугунов А.А.

Группа: 33501/4

**Преподаватель:**

Богач Н.В.

Санкт-Петербург  
2017

# Содержание

<b>1. Цель работы</b>	<b>2</b>
<b>2. Постановка задачи</b>	<b>2</b>
<b>3. Теоретическая информация</b>	<b>2</b>
3.1. Модуляция . . . . .	2
3.2. Типы цифровой модуляции . . . . .	2
3.2.1. BPSK, PSK . . . . .	3
3.2.2. genQAM, OQPSK . . . . .	3
3.2.3. MSK . . . . .	5
3.2.4. MFSK . . . . .	7
<b>4. Ход работы</b>	<b>7</b>
4.1. BPSK-модуляция . . . . .	9
4.2. PSK-модуляция . . . . .	10
4.3. OQPSK-модуляция . . . . .	11
4.4. genQAM-модуляция . . . . .	13
4.5. MSK-модуляция . . . . .	14
4.6. MFSK-модуляция . . . . .	16
<b>5. Выводы</b>	<b>17</b>

# 1. Цель работы

Изучение методов модуляции цифровых сигналов.

## 2. Постановка задачи

1. Получить сигналы BPSK, PSK, OQPSK, genQAM, MSK, M-FSK модуляторов.
2. Построить их сигнальные созвездия.
3. Провести сравнение изученных методов модуляции цифровых сигналов.

## 3. Теоретическая информация

### 3.1. Модуляция

Перенос спектра сигналов из низкочастотной области на заданную частоту, т.е. в выделенную для их передачи область высоких частот выполняется операцией *модуляции*. Обозначим низкочастотный сигнал, подлежащий передаче по какому-либо каналу связи,  $s(t)$ .

Исходный информационный сигнал  $s(t)$  называют *модулирующим*, результат модуляции – *модулированным сигналом*. Обратную операцию выделения модулирующего сигнала из модулированного колебания называют демодуляцией или детектированием.

### 3.2. Типы цифровой модуляции

Цифровая модуляция и демодуляция включают в себя две стадии. При модуляции цифровое сообщение сначала преобразуется в аналоговый модулирующий сигнал с помощью функции `modmap`, а затем осуществляется аналоговая модуляция. При демодуляции сначала получается аналоговый демодулированный сигнал, а затем он преобразуется в цифровое сообщение с помощью функции `demodmap`.

Аналоговый несущий сигнал модулируется цифровым битовым потоком. Существуют три фундаментальных типа цифровой модуляции (или шифтинга) и один гибридный:

1. ASK – Amplitude shift keying (Амплитудная двоичная модуляция).
2. FSK – Frequency shift keying (Частотная двоичная модуляция).
3. PSK – Phase shift keying (Фазовая двоичная модуляция).
4. ASK/PSK.

Одна из частных реализаций схемы ASK/PSK - QAM - Quadrature Amplitude Modulation (квадратурная амплитудная модуляция (КАМ)). Это метод объединения двух АМ-сигналов в одном канале. Он позволяет удвоить эффективную пропускную способность. В QAM используется две несущих с одинаковой частотой но с разницей в фазе на четверть периода. Частотная модуляция представляет логическую единицу интервалом с большей частотой, чем ноль. Фазовый сдвиг представляет «0» как сигнал без сдвига, а «1» как сигнал со сдвигом. BPSK использует единственный сдвиг фазы между «0» и «1» — 180 градусов, половина периода. QPSK использует 4 различных сдвига фазы (по четверти периода) и может кодировать 2 бита в символе (01, 11, 00, 10).

### 3.2.1. BPSK, PSK

BPSK и PSK - модуляция со сдвигом фазы сигнала без изменения амплитуды. В PSK их может быть множество, в BPSK - один (на  $\pi$ ).

Изображения сигнального созвездия и схемы модулятора BPSK приведены ниже на следующих рисунках:

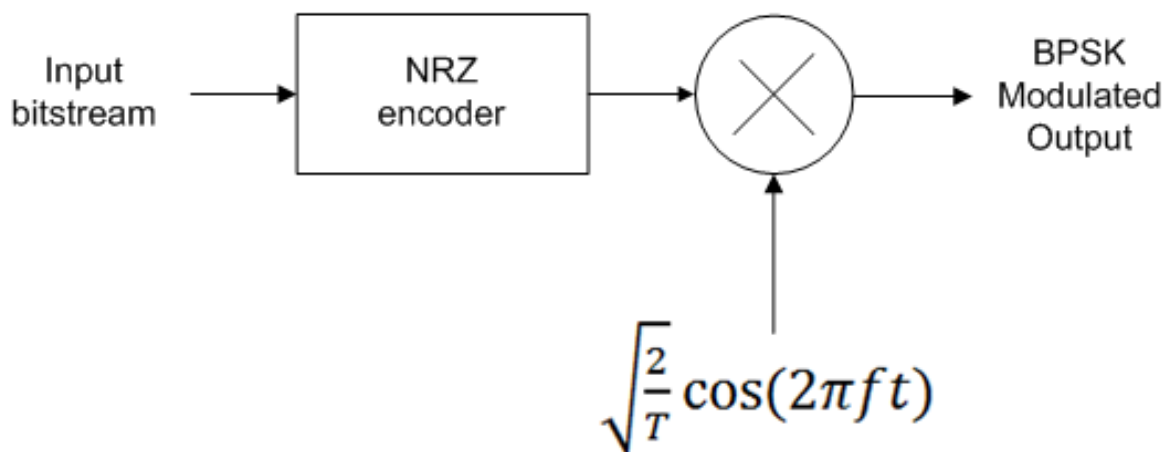


Рис. 3.2.1. Схема устройства модулятора BPSK.

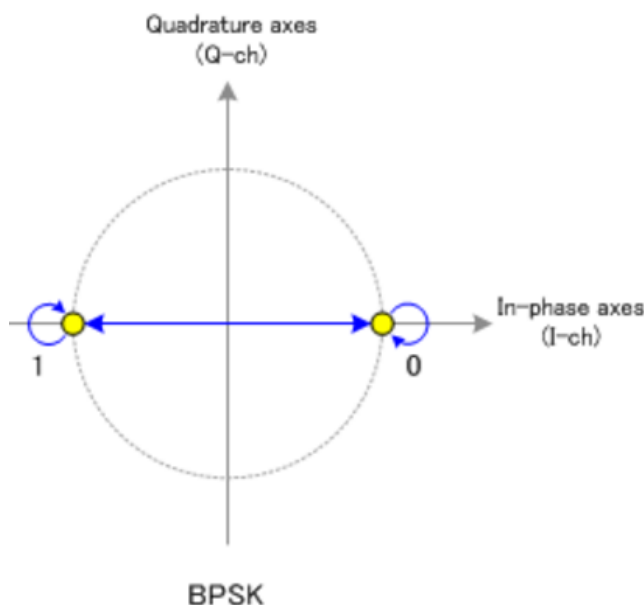


Рис. 3.2.2. Сигнальное созвездие BPSK.

### 3.2.2. genQAM, OQPSK

При квадратурной амплитудной модуляции (КАМ) изменяется как фаза, так и амплитуда несущего сигнала. Это позволяет увеличить количество кодируемых в единицу времени бит и при этом повысить помехоустойчивость их передачи по каналу связи. В настоящее время число кодируемых информационных бит на одном интервале может

достигать 8-9, а число состояний сигнала в сигнальном пространстве, соответственно – 256... 512. Квадратурное представление сигнала заключается в выражении колебания линейной комбинацией двух ортогональных составляющих – квадратурной и синфазной:

$$S(t) = x(t)\sin(\omega t + \varphi)\cos(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

где  $x(t)$  и  $y(t)$  – биполярные дискретные сигналы.

Четырехфазная ФМ со сдвигом (OQPSK – Offset QPSK) позволяет избежать скачков фазы на  $180^\circ$  и, следовательно, глубокой модуляции огибающей. Формирование сигнала в модуляторе OQPSK происходит так же, как и в модуляторе ФМ-4, за исключением того, что манипуляционные элементы информационных последовательностей  $x(t)$  и  $y(t)$  смещены во времени на длительность одного элемента, рис. 3.2.3 Изменение фазы при таком смещении модулирующих потоков определяется лишь одним элементом последовательности, а не двумя, как при ФМ 4. В результате скачки фазы на  $180^\circ$  отсутствуют, так как каждый элемент последовательности, поступающий на вход модулятора синфазного или квадратурного канала, может вызвать изменение фазы на  $0$ ,  $+90^\circ$  или  $-90^\circ$ .

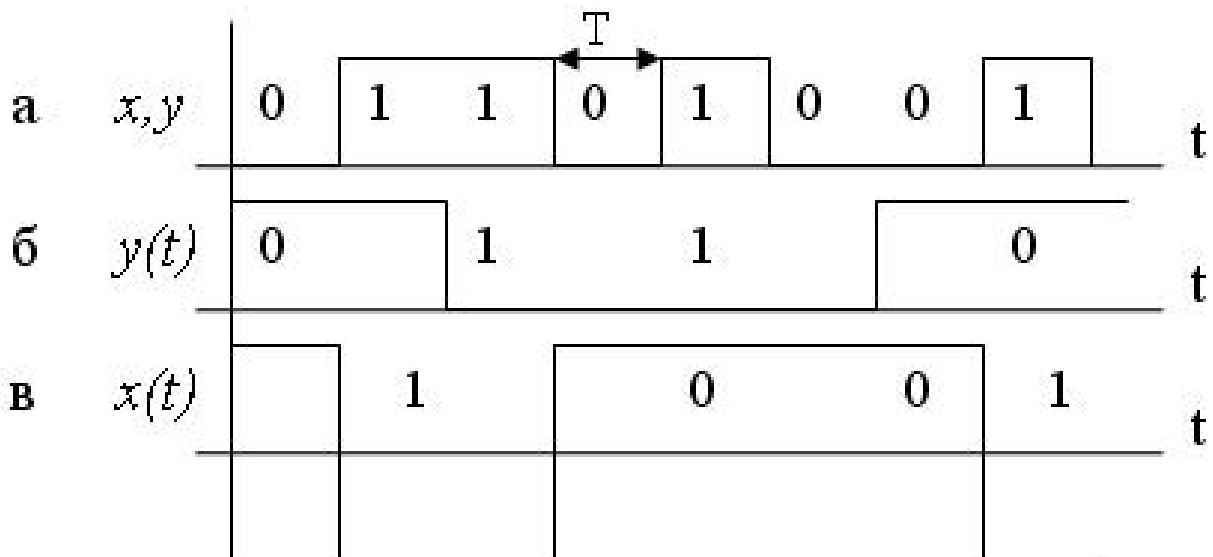


Рис. 3.2.3. Формирование манипулирующих сигналов

Преобразованные таким образом сигналы передаются в одном канале. Поскольку один и тот же физический канал используется для передачи двух сигналов, то скорость передачи КАМ-сигнала в отличие от АМ-сигнала в два раза выше. Ниже показана структурная схема модулятора и диаграмма состояний (сигнальное созвездие) системы КАМ-16, в которой  $x(t)$  и  $y(t)$  принимают значения  $\pm 1, \pm 3$  (4-х уровневая КАМ).

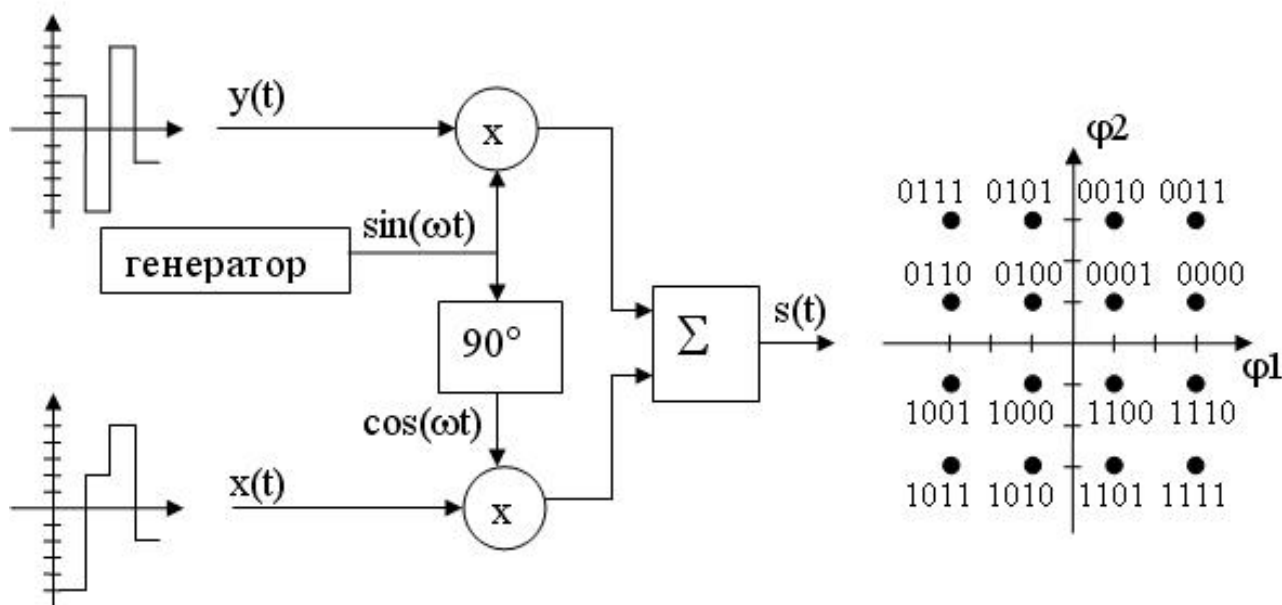


Рис. 3.2.4. Модуляция КАМ-16 и ее сигнальное созвездие

### 3.2.3. MSK

Частотная манипуляция с минимальным сдвигом (англ. Minimal Shift Keying (MSK)) представляет собой способ модуляции, при котором не происходит скачков фазы и изменение частоты происходит в моменты пересечения несущей нулевого уровня. MSK характеризуется тем, что значение частот соответствующих логическим «0» и «1» отличаются на величину равную половине скорости передачи данных. Другими словами, индекс модуляции равен 0,5.

Изображения сигнального созвездия и схемы модулятора MSK приведены ниже на рисунках:

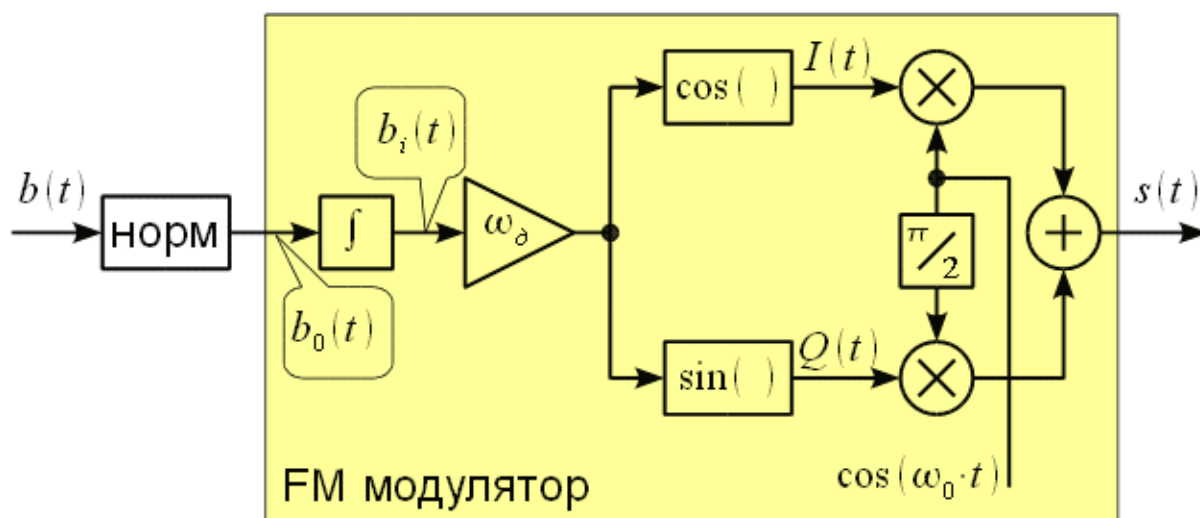


Рис. 3.2.5. Структурная схема формирования MSK на основе FM модулятора.

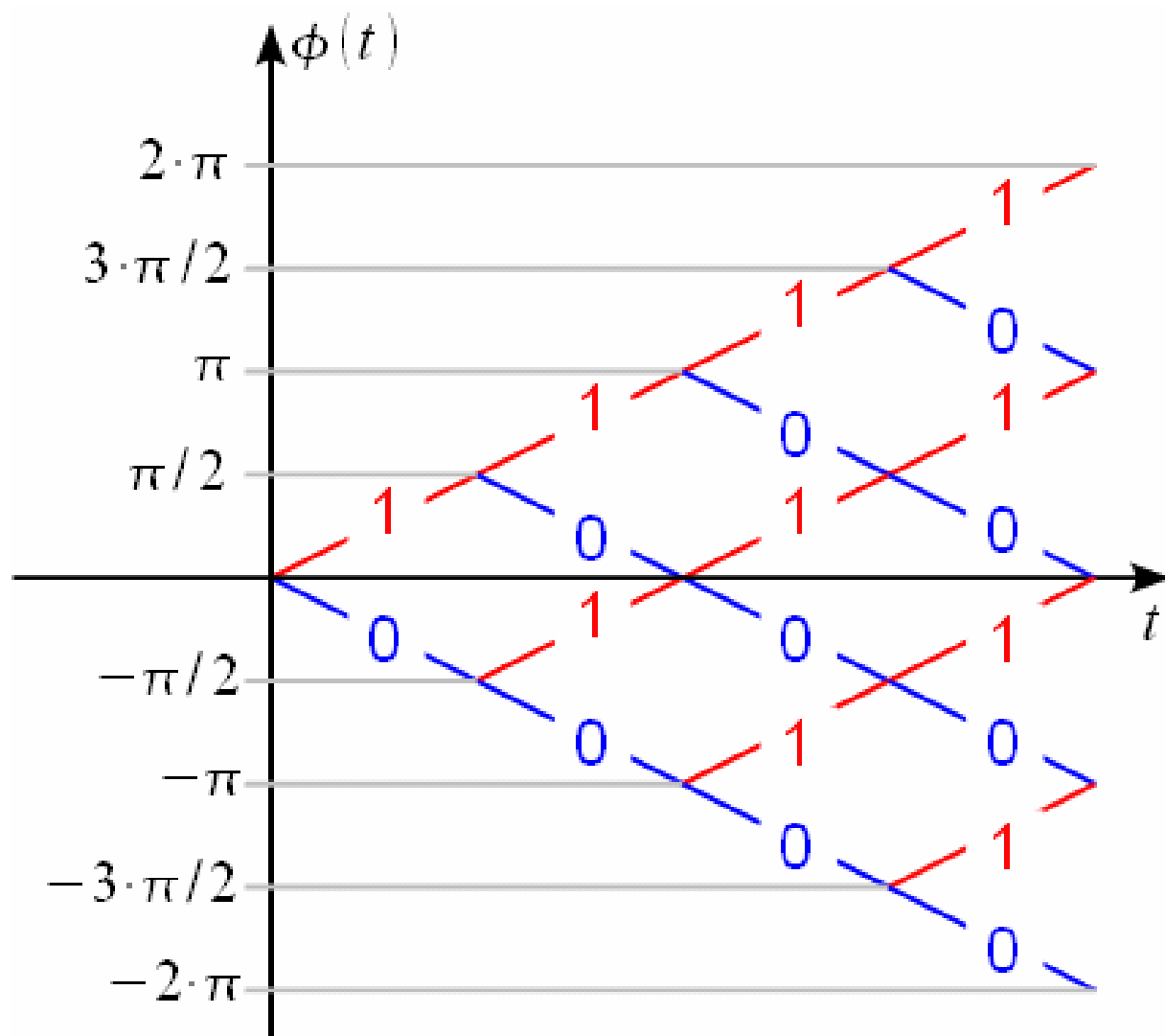


Рис. 3.2.6. Полная фазовая диаграмма при MSK для 4-х бит информации.

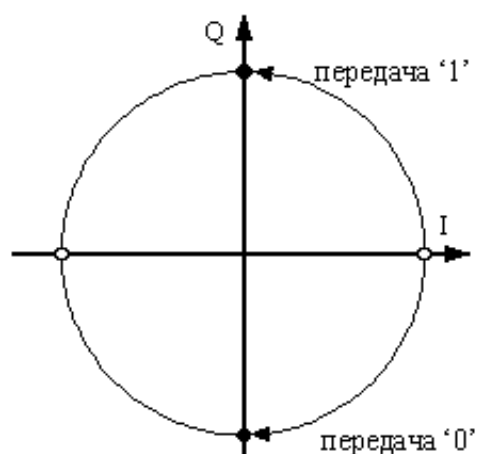


Рис. 3.2.7. Сигнальное созвездие MSK.

### 3.2.4. MFSK

Можно построить и модулятор многопозиционной частотной модуляции. В этом случае будет использовано большее количество синусоидальных генераторов, а для управления коммутатором потребуется многоразрядное двоичное число.

Сигналы в многопозиционной частотной модуляции могут быть описаны в соответствии со следующим выражением:

$$s_1(t) = \cos(\omega_1 t); s_2(t) = \cos(\omega_2 t); \dots; s_N(t) = \cos(\omega_N t); \quad (2)$$

формула сигнала 1 многопозиционной частотной модуляции, формула сигнала 2 многопозиционной частотной модуляции, ..., формула сигнала N многопозиционной частотной модуляции (3) где  $s_1$  используется для передачи первого состояния символа;  $s_2$  — для передачи второго состояния символа;  $s_N$  — для передачи N-го состояния символа.

## 4. Ход работы

Реализация различных типов модуляций в программе MatLab:

Листинг 1: Код в MatLab

```
1 % %BPSK
2 % h = modem.pskmod('M', 2);
3 % g = modem.pskdemod('M', 2);
4 % msg = randi(2,10,1) - 1;
5 % modSignal = modulate(h,msg);
6 % errSignal = (randerr(1,10, 3) ./ 30)';
7 %_modSignal=_modSignal+_errSignal;
8 %_demodSignal=_demodulate(g,modSignal);
9 %_scatterplot(modSignal);
10 %_figure
11 %_plot(msg);
12 %_legend('The input message');
13 %_figure
14 %_plot(modSignal);
15 %_figure
16 %_plot(demodSignal);
17 %_legend('The demodulated message');
18
19
20 %_%PSK_modulation
21 %_h=_modem.pskmod('M',_8);
22 %_g=_modem.pskdemod('M',_8);
23 %_msg=_randi(8,10,1)-_1;
24 %_modSignal=_modulate(h,msg);
25 %_errSignal=_ (randerr(1,10,_3)-_30)';
26 % modSignal = modSignal + errSignal;
27 % demodSignal = demodulate(g,modSignal);
28 % scatterplot(modSignal);
29 % figure
30 % plot(msg);
31 % legend('The_input_message');
32 % figure
33 % plot(modSignal);
34 % figure
35 % plot(demodSignal);
36 % legend('The_demodulated_message');
37
```



```

38 % %OQPSK modulation
39 % h = modem.oqpskmod;
40 % g = modem.oqpskdemod;
41 % msg = randi(4,200,1) - 1;
42 % modSignal = modulate(h,msg);
43 % errSignal = (randerr(1,400, 100) ./ 30)';
44 %_modSignal=_modSignal+_errSignal;
45 %_demodSignal=_demodulate(g,modSignal);
46 %_scatterplot(modSignal);
47 %_figure
48 %_plot(msg);
49 %_legend('The input message');
50 %_figure
51 %_plot(modSignal);
52 %_figure
53 %_plot(demodSignal);
54 %_legend('The demodulated message');
55 %
56 %genQAM
57 %M=_10;
58 %_h=_modem.genqammod('Constellation',_exp(j*2*pi*[0:M-1]/M));
59 %_g=_modem.genqamdemod('Constellation',_exp(j*2*pi*[0:M-1]/M));
60 %_msg=_randi(8,10,1)-1;
61 %_modSignal=_modulate(h,msg);
62 %_errSignal=_ (randerr(1,10,_3) ./ _30)';
63 % modSignal = modSignal + errSignal;
64 % demodSignal = demodulate(g,modSignal);
65 % scatterplot(modSignal);
66 % figure
67 % plot(msg);
68 % legend('The_input_message');
69 % figure
70 % plot(modSignal);
71 % figure
72 % plot(demodSignal);
73 % legend('The_demodulated_message');
74 %
75 %
76 %MSK modulation
77 h = modem.mskmod('SamplesPerSymbol', 10);
78 g = modem.mskdemod('SamplesPerSymbol', 10);
79 msg = randi(2,10,1)-1;
80 modSignal = modulate(h, msg);
81 errSignal = (randerr(1,100, 3) ./ 30)';
82 modSignal=_modSignal+_errSignal;
83 demodSignal=_demodulate(g,_modSignal);
84 scatterplot(modSignal);
85 figure
86 plot(msg);
87 legend('The input message');
88 figure
89 plot(modSignal);
90 figure
91 plot(demodSignal);
92 legend('The demodulated message');

```

Результаты выполнения представлены на рисунках ниже.

## 4.1. BPSK-модуляция

Код, соответствующий графикам ниже, расположен в строках 1-17 в листинге 1.

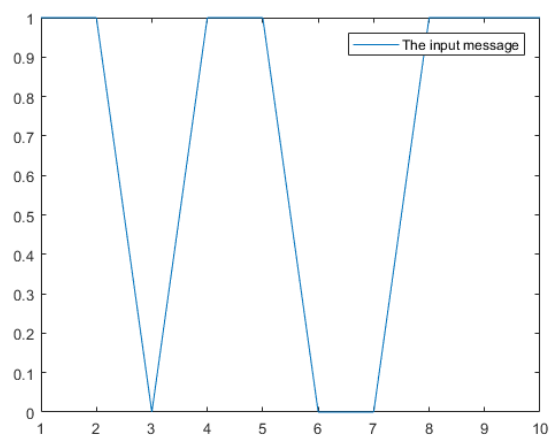


Рис. 4.1.1. Входной сигнал BPSK.

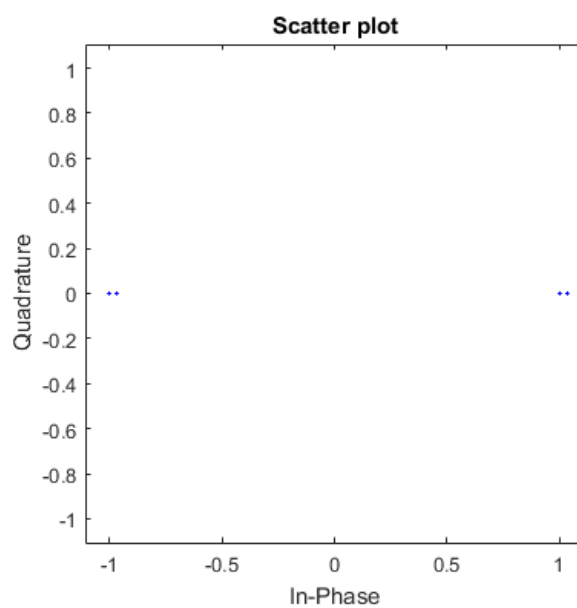


Рис. 4.1.2. Сигнальное созвездие BPSK.

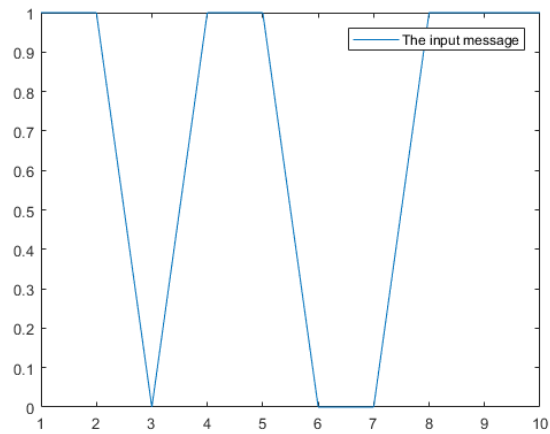


Рис. 4.1.3. Демодулированный сигнал BPSK.

Можно увидеть, что демодулированный сигнал совпал с исходным.

## 4.2. PSK-модуляция

Код, соответствующий графикам ниже, расположен в строках 20-36 в листинге 1.

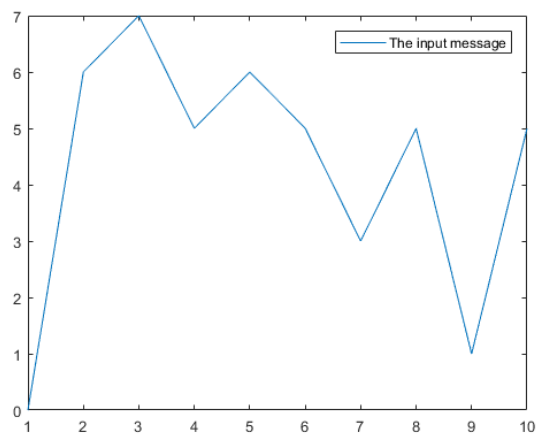


Рис. 4.2.1. Входной сигнал PSK.

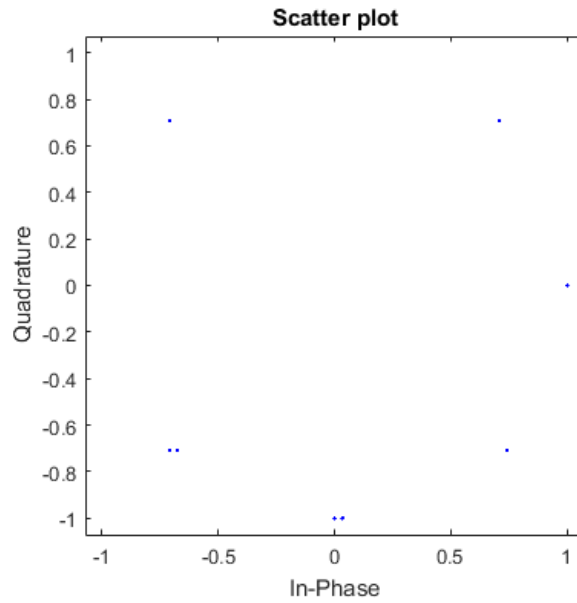


Рис. 4.2.2. Сигнальное созвездие PSK.

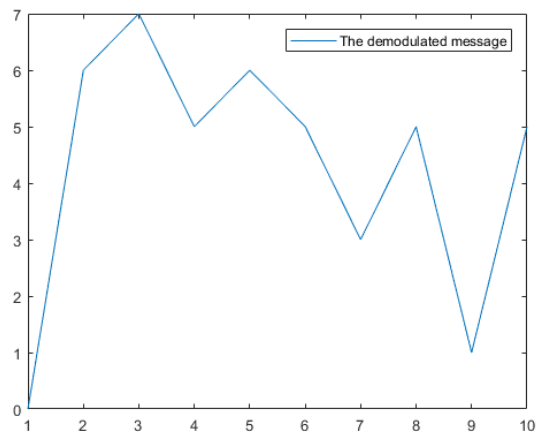


Рис. 4.2.3. Демодулированный сигнал PSK.

Можно увидеть, что демодулированный сигнал совпал с исходным.

### 4.3. OQPSK-модуляция

Код, соответствующий графикам ниже, расположен в строках 38-54 в листинге 1.

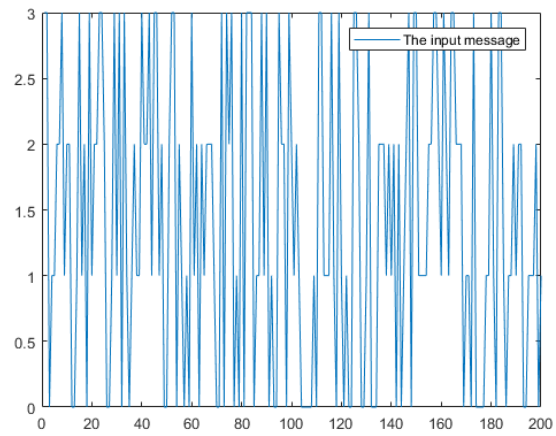


Рис. 4.3.1. Входной сигнал OQPSK.

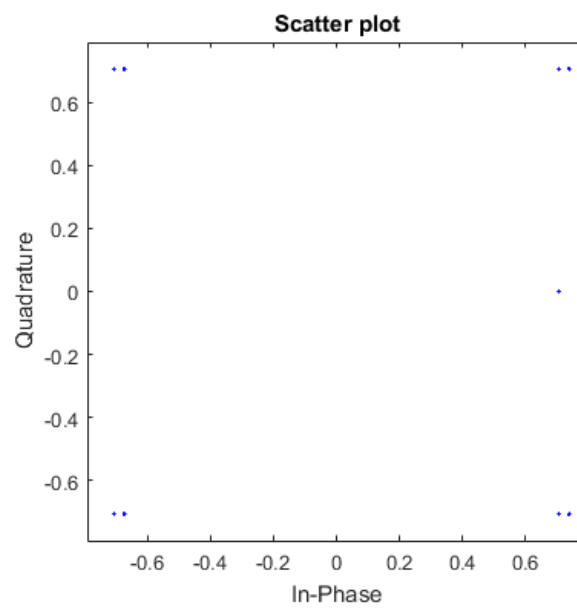


Рис. 4.3.2. Сигнальное созвездие OQPSK.

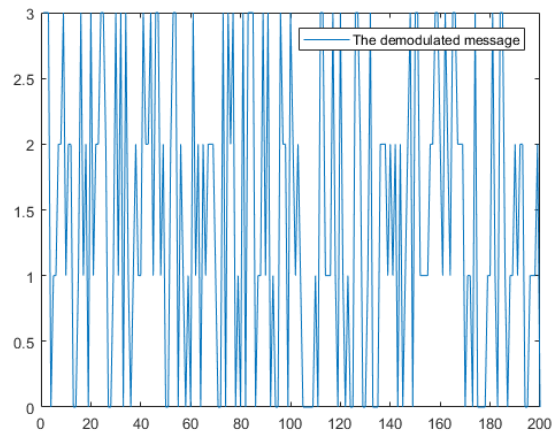


Рис. 4.3.3. Демодулированный сигнал OQPSK.

Можно увидеть, что демодулированный сигнал совпал с исходным.

#### 4.4. genQAM-модуляция

Код, соответствующий графикам ниже, расположен в строках 56-73 в листинге 1.

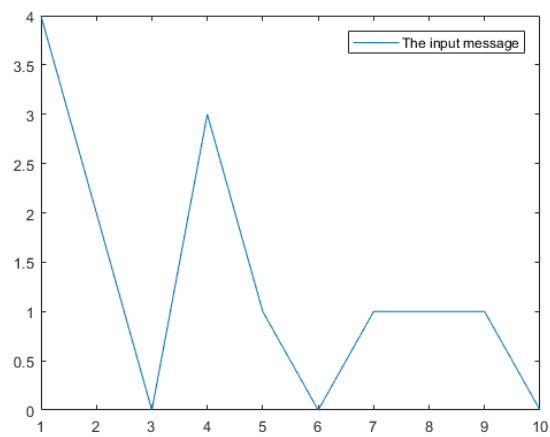


Рис. 4.4.1. Входной сигнал genQAM.

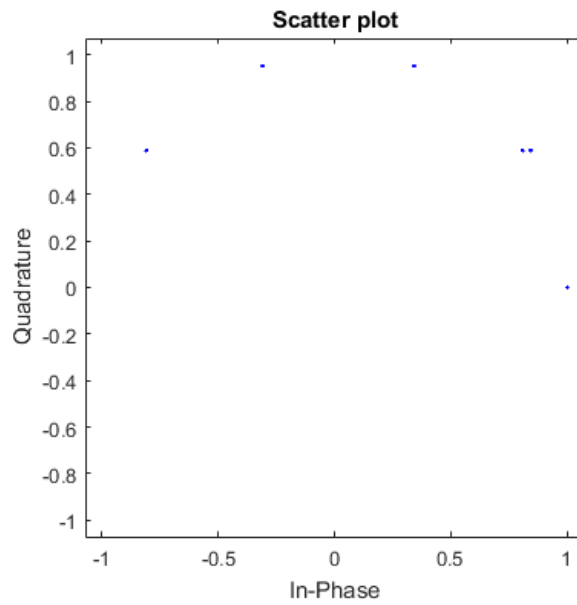


Рис. 4.4.2. Сигнальное созвездие genQAM.

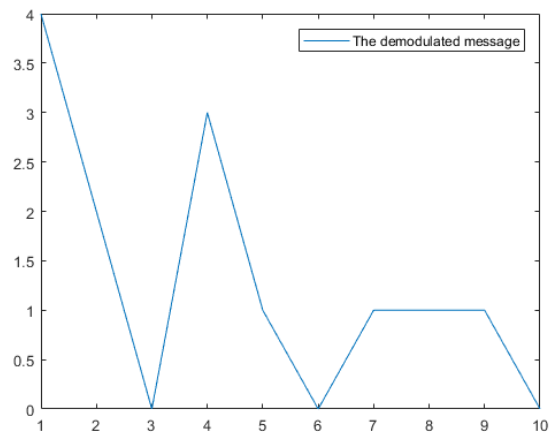


Рис. 4.4.3. Демодулированный сигнал genQAM.

Можно увидеть, что демодулированный сигнал совпал с исходным.

## 4.5. MSK-модуляция

Код, соответствующий графикам ниже, расположен в строках 76-92 в листинге 1.

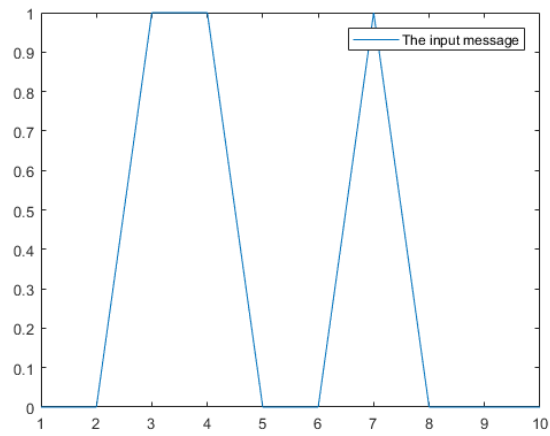


Рис. 4.5.1. Входной сигнал MSK.

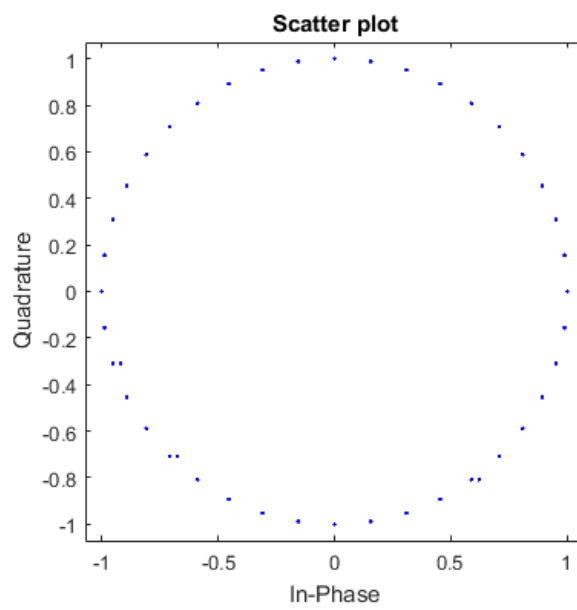


Рис. 4.5.2. Сигнальное созвездие MSK.



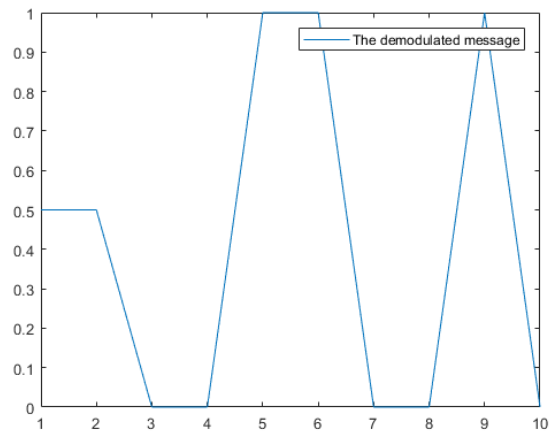


Рис. 4.5.3. Демодулированный сигнал MSK.

Как можно видеть, при использовании MSK выходной сигнал имеет задержку при демодуляции.

## 4.6. MFSK-модуляция

В Simulink была построена модель MFSK-модулятора, результаты работы совпали с ожидаемыми, входная последовательность совпала с выходной.

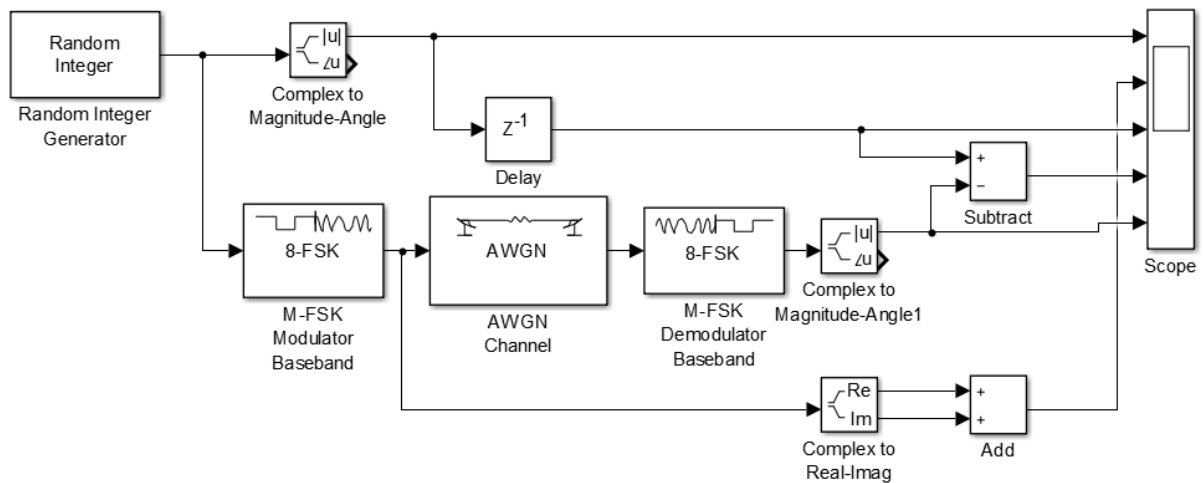


Рис. 4.6.1. Simulink-модель MFSK.

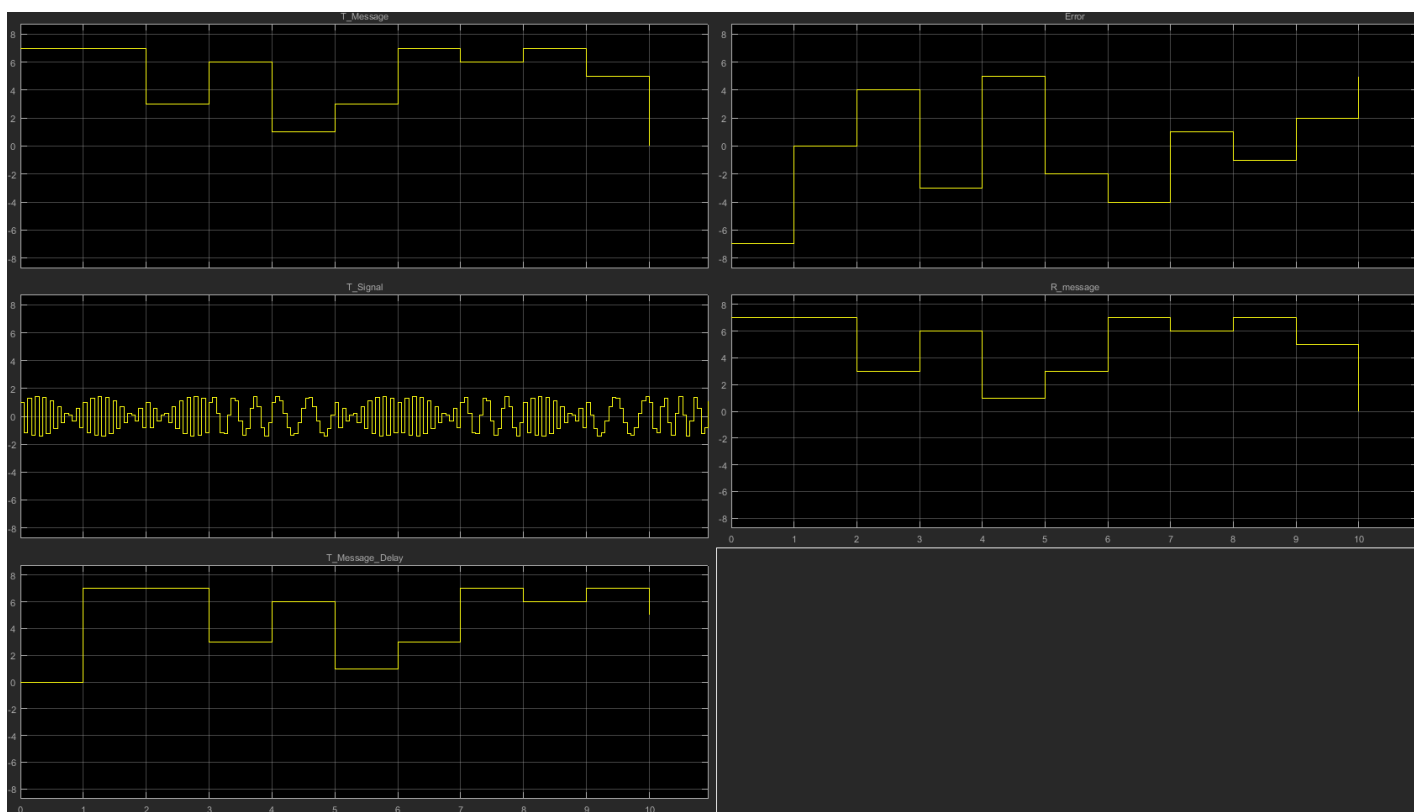


Рис. 4.6.2. Графики входного сигнала, задержанного сигнала, модулированного сигнала, сигнала ошибки с задержанным сигналом, выходного сигнала MFSK (слева направо сверху вниз)

## 5. Выводы

В данной работе мы рассмотрели различные виды модуляций цифровых сигналов, а так же увидели их отличия построив сигнальные созвездия. Стоит отметить, что различные виды модуляций могут отличаться изменением как фазы и амплитуды отдельно, так и изменением этих двух параметров одновременно, тогда одним состоянием сигнала мы сможем увеличить количество передаваемой информации.

Частотная манипуляция с минимальным сдвигом (MSK) представляет собой способ модуляции, при котором не происходит скачков фазы и изменение частоты происходит в моменты пересечения несущей нулевого уровня. Принцип MSK таков, что значение частот соответствующих логическим «0» и «1» отличаются на величину равную половине скорости передачи данных.

Уровень модуляции определяет количество состояний несущей, используемых для передачи информации. Чем выше этот уровень, тем большими скоростными возможностями и меньшей помехоустойчивостью обладает модуляция. Число бит, передаваемых одним состоянием, определяется как  $\log(N)$ , где  $N$  — уровень модуляции.