

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:

Болдырев А.В.

Группа: 33501/3

Преподаватель:

Богач Н.В.

Санкт-Петербург
2017

Содержание

| | |
|--|-----------|
| 1. Цель работы | 2 |
| 2. Постановка задачи | 2 |
| 3. Теоретическая информация | 2 |
| 3.1. Модуляция | 2 |
| 3.2. Типы цифровой модуляции | 2 |
| 3.2.1. BPSK, PSK | 2 |
| 3.2.2. genQAM, OQPSK | 3 |
| 3.2.3. MSK | 6 |
| 3.2.4. MFSK | 9 |
| 4. Ход работы | 9 |
| 4.1. BPSK-модуляция | 12 |
| 4.2. PSK-модуляция | 13 |
| 4.3. OQPSK-модуляция | 15 |
| 4.4. genQAM-модуляция | 16 |
| 4.5. MSK-модуляция | 18 |
| 4.6. MFSK-модуляция | 19 |
| 5. Выводы | 20 |

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

Сигналы от любых источников информации передаются по линиям связи к приемникам, например, в измерительно-вычислительные системы регистрации и обработки данных. Как правило, информационные сигналы являются низкочастотными и ограниченными по ширине спектра, тогда как методы передачи сигналов рассчитаны на работу с высокочастотным сигналом. При этом важным вопросом является частотное разделение каналов передачи информации с целью эффективного использования каналообразующего оборудования и выделенного для передачи частотного диапазона. 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, $s(t)$.

В канале связи для передачи данного сигнала выделяется определенный диапазон высоких частот и формируется вспомогательный периодический высокочастотный сигнал $u(t) = f(t; a_1, a_2, \dots, a_m)$. Совокупность параметров a_i определяет форму вспомогательного сигнала. Значения параметров a_i в отсутствие модуляции являются величинами постоянными. Если на один из этих параметров перенести сигнал $s(t)$, т.е. сделать его значение пропорционально зависимым от значения $s(t)$ во времени (или по любой другой независимой переменной), то форма сигнала $u(t)$ приобретает новое свойство. Она служит для переноса информации, содержащейся в сигнале $s(t)$. Сигнал $u(t)$ называется *несущим сигналом*, *несущим колебанием* или просто *несущей (carrier)*, а физический процесс переноса информации на параметры несущего сигнала – его *модуляцией*.

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

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 π).

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

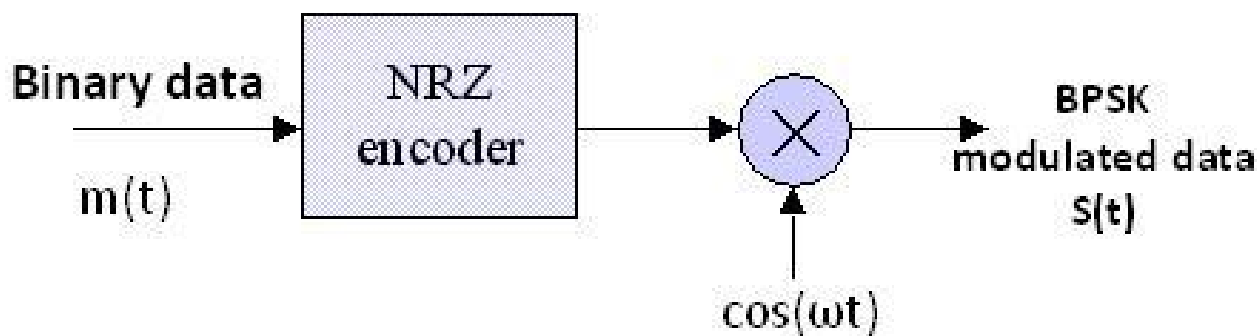


Рис. 3.2.1. Схема устройства модулятора BPSK.

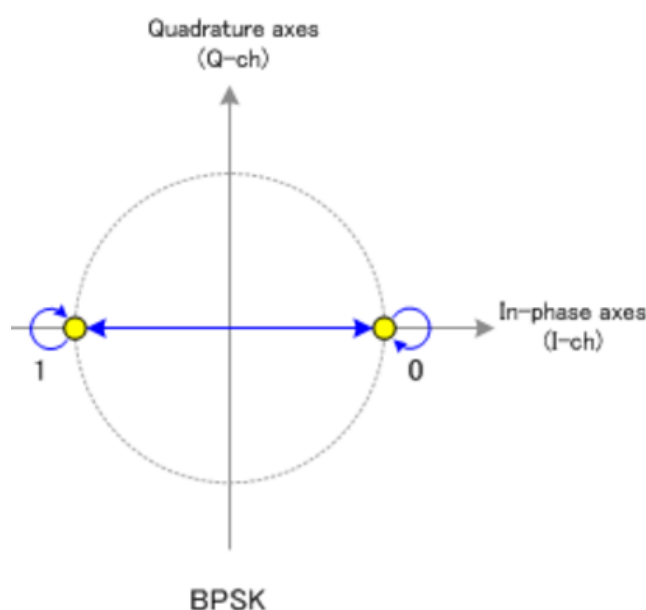


Рис. 3.2.2. Сигнальное созвездие BPSK.

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:

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

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

Рассмотрим работу квадратурного модулятора на примере схемы формирования сигналов четырехфазной ФМ из битового потока. Исходная последовательность двоичных символов при помощи регистра сдвига разделяется на нечетные y и четные x импульсы,

которые поступают на входы формирователей манипулирующих импульсов (ФМИ) квадратурного и синфазного каналов. На выходах ФМИ образуются последовательности биполярных импульсов $x(t)$ и $y(t)$ с амплитудой $\pm U_m$ и длительностью 2, которые поступают на входы канальных перемножителей, где они независимо друг от друга модулируют по амплитуде два одинаковых несущих колебания, имеющих сдвиг фаз 90° , т.е. находящихся в квадратуре. В результате, на их выходах формируются двухфазные $(0, \pi)$ колебания. После суммирования они образуют сигнал ФМ-4 или квадратурный ФМ-сигнал (Quadrature Phase Shift Keying – QPSK). Поскольку в каждом канале осуществляется амплитудная манипуляция, этот вид модуляции называют еще квадратурной амплитудной манипуляцией (QASK – Quadrature Amplitude Shift Keying) или просто квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ). При одновременной смене символов в обоих каналах модулятора (с 10 на 01, или с 00 на 11) в сигнале ФМ-4 происходит скачок фазы на $180^\circ(\pi)$. Такие скачки фазы вызывают появление высокочастотных составляющих в спектре модулированного сигнала. В результате этого при прохождении сигнала через узкополосный фильтр возникают провалы огибающей несущего колебания до нуля. Такие изменения сигнала нежелательны, поскольку приводят к увеличению энергии боковых полос и помех в канале связи. Четырехфазная ФМ со сдвигом (OQPSK – Offset QPSK) позволяет избежать скачков фазы на 180° 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. 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° отсутствуют, так как каждый элемент последовательности, поступающий на вход модулятора синфазного или квадратурного канала, может вызвать изменение фазы на $0, +90^\circ$ или -90° .

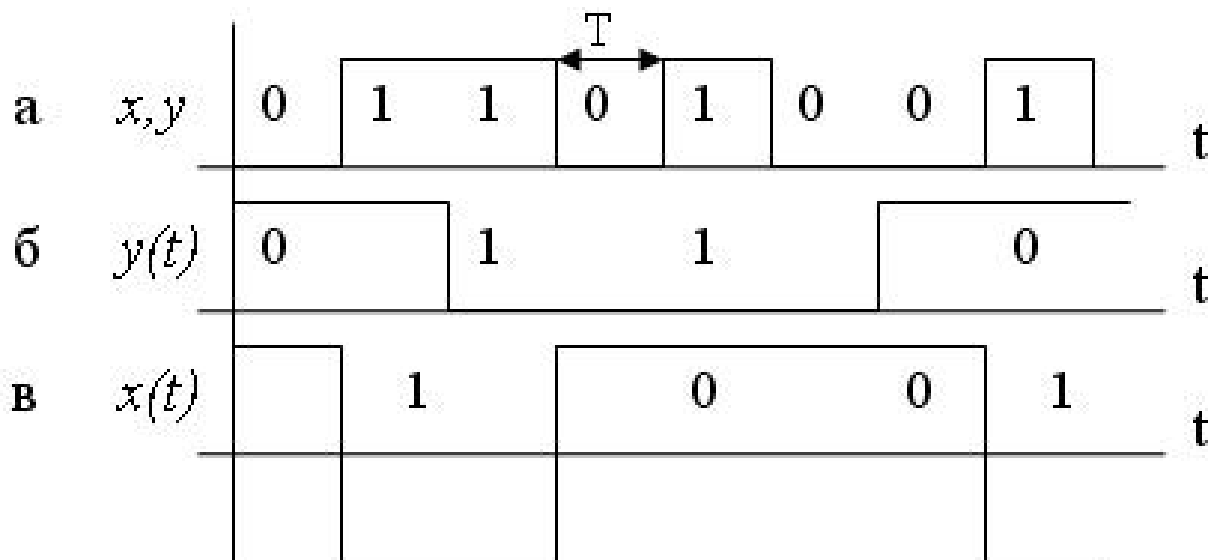


Рис. 3.2.3. Формирование манипулирующих сигналов

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. Удобным способом визуализации сигналов модуляции можно считать их изображение векторами или точками

в сигнальном пространстве. Совокупность сигнальных точек образует, так называемое, сигнальное созвездие (signal constellation). 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).

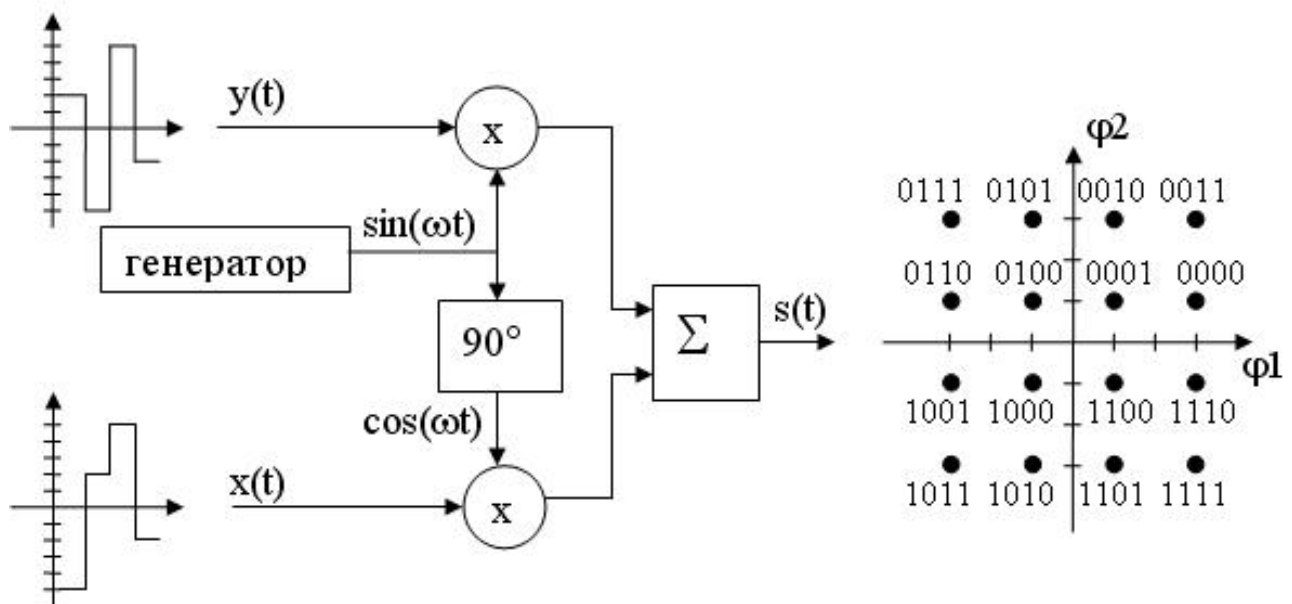


Рис. 3.2.4. Модуляция КАМ-16 и ее сигнальное созвездие

Существует несколько способов практической реализации 4-х уровневой КАМ. Еще одна схема, реализующая данный этот вид модуляции, использует два одинаковых 4 фазных модулятора. Структурная схема такого модулятора КАМ-16 имеет вид:

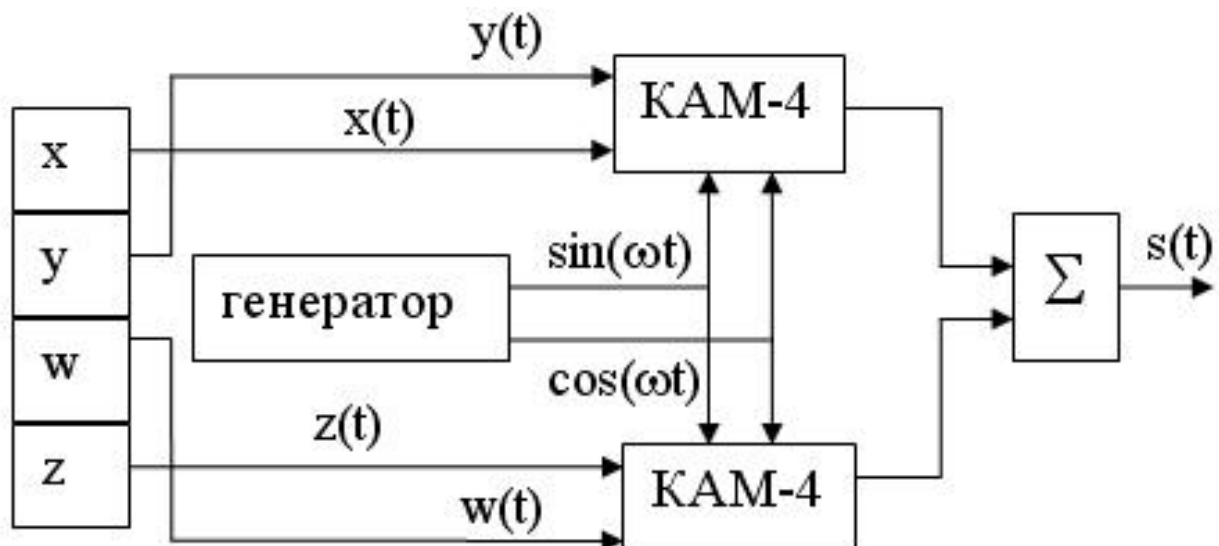


Рис. 3.2.5. Альтернативная схема модулятора КАМ-16

В общем случае, при формировании сигналов многопозиционной КАМ, модуляция ортогональных сигналов осуществляется в цифровом виде. Для этих целей используется

два цифровых полосовых фильтра с одинаковой амплитудой входных колебаний, но различающихся фазовым сдвигом в 90°. Уровни усиления амплитуды для каждого потока устанавливают независимо. Для системы, поддерживающей m амплитудных уровней для каждого потока можно образовать m^2 различных комбинаций нуля и единицы. При равном числе точек в сигнальном созвездии спектр сигналов КАМ идентичен спектру сигналов ФМ. Однако помехоустойчивость систем ФМ и КАМ различна. При одинаковом числе точек сигналы системы КАМ имеют лучшую помехозащищенность, чем сигналы системы ФМ. Основная причина этого состоит в том, что расстояние между сигнальными точками в системе ФМ меньше расстояния между сигнальными точками в системе КАМ. Ниже представлены сигнальные созвездия систем КАМ-16 и ФМ-16 при одинаковой нормированной мощности сигнала.

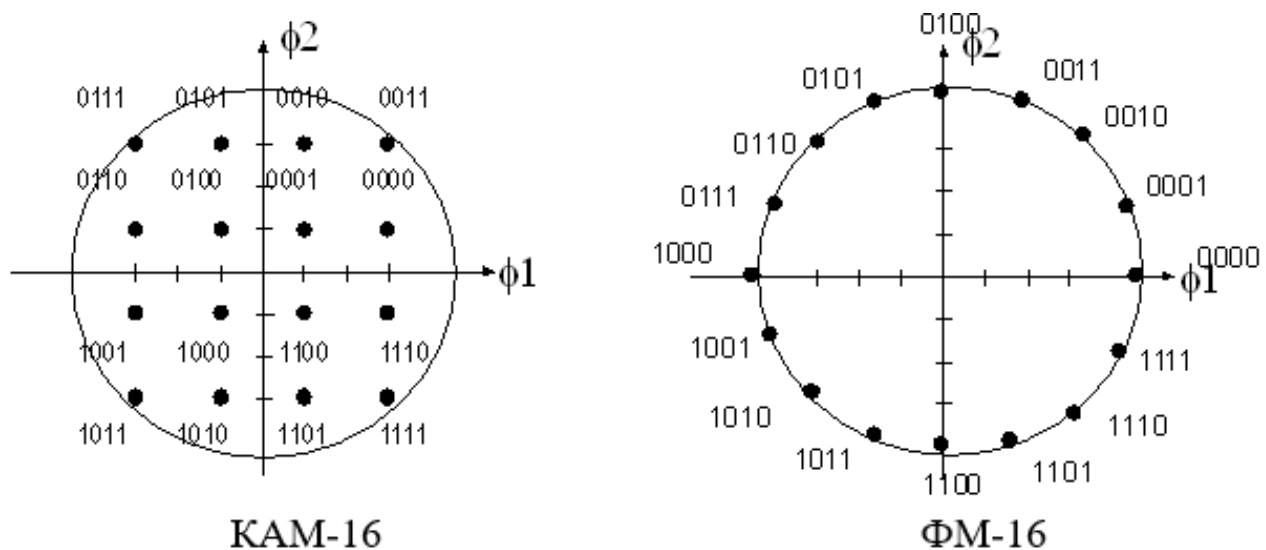


Рис. 3.2.6. Сигнальные созвездия КАМ-16 и ФМ-16

Расстояние между соседними точками сигнального созвездия в системе КАМ с L уровнями модуляции определяется выражением:

$$d = \frac{\sqrt{2}}{L - 1} \quad (2)$$

Аналогично при ФМ:

$$d = 2 \sin\left(\frac{\pi}{M}\right) \quad (3)$$

где M – число фаз.

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:

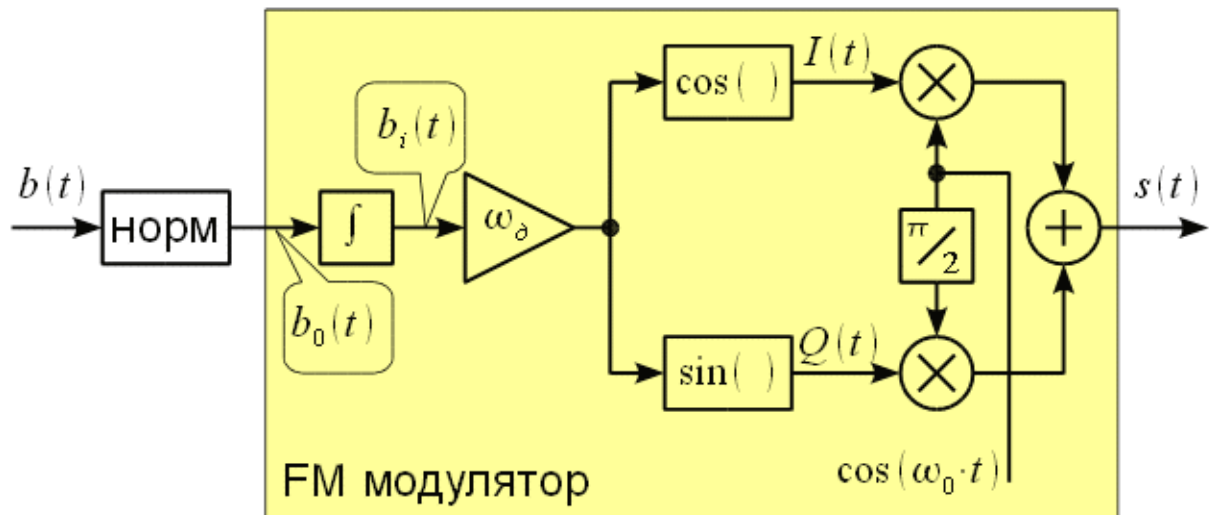


Рис. 3.2.7. Структурная схема формирования MSK на основе FM модулятора.

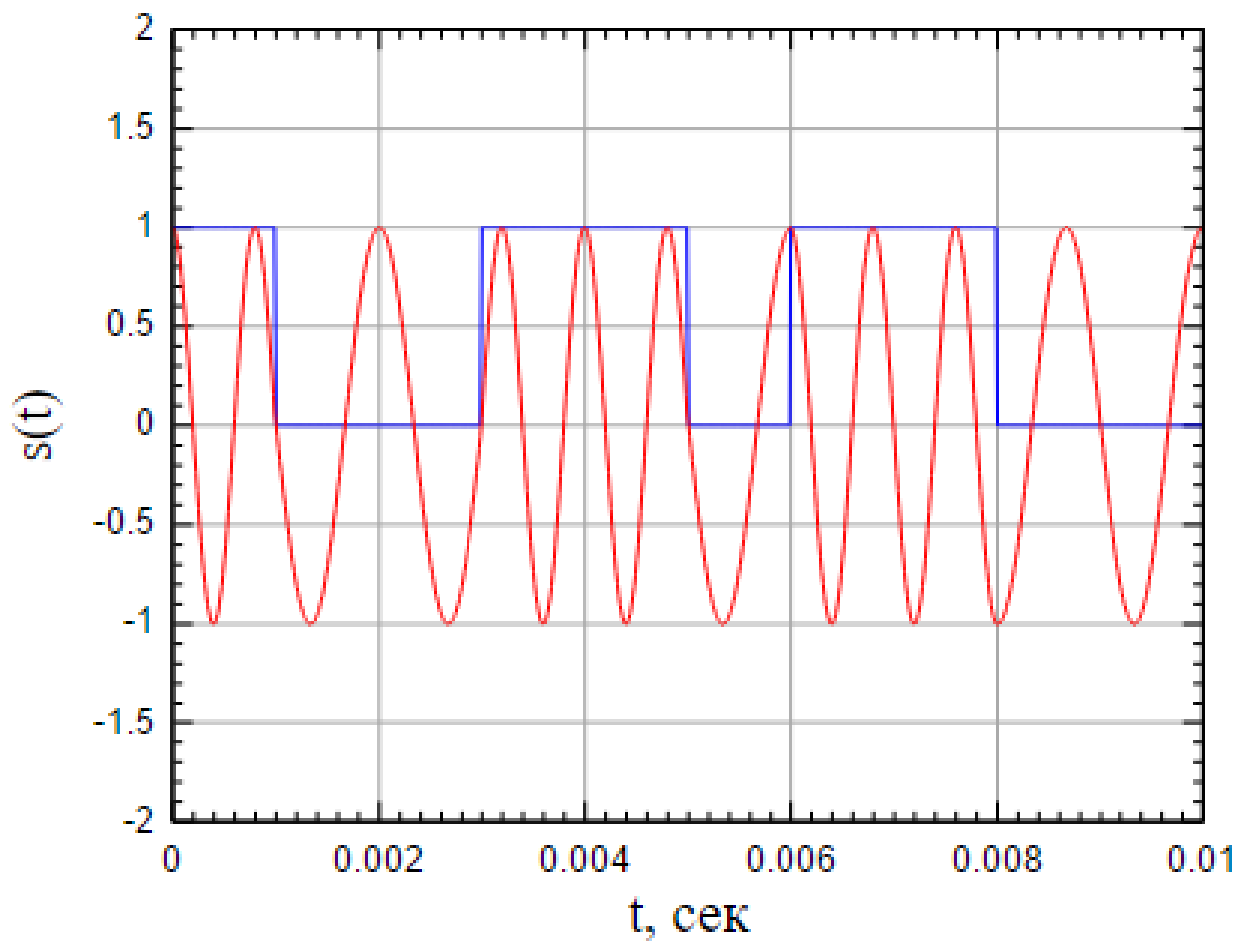


Рис. 3.2.8. Диаграмма MSK сигнала.

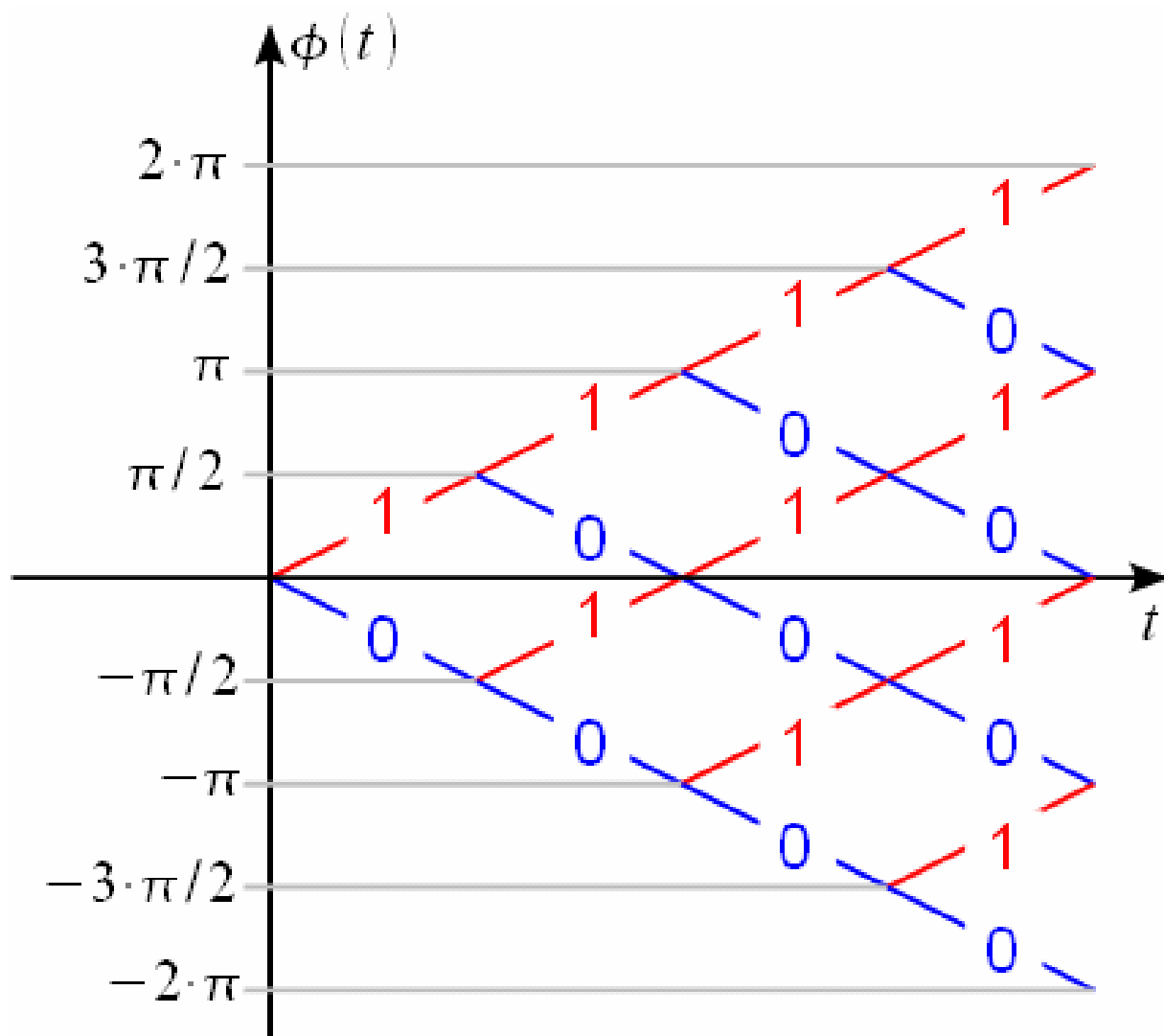


Рис. 3.2.9. Полная фазовая диаграмма при MSK для 4-х бит информации.

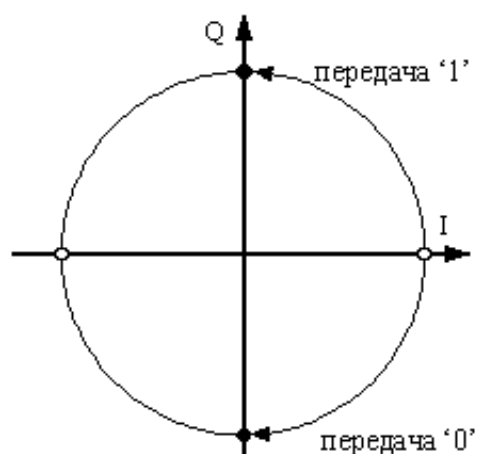


Рис. 3.2.10. Сигнальное созвездие MSK.

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:

$$s_1(t) = \cos(\omega_1 t); s_2(t) = \cos(\omega_2 t); \dots; s_N(t) = \cos(\omega_N t); \quad (4)$$

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.

Использование многопозиционной частотной модуляции позволяет реализовать высокочастотный сигнал с постоянной амплитудой. Такой сигнал позволяет строить радиопередатчики с максимальным КПД, так как при применении сигнала с постоянной амплитудой, усилитель мощности радиопередатчика работает в оптимальном режиме.

На практике получила распространение двойная частотная модуляция — ДЧМ (С4FM) использующаяся в режиме с непрерывным изменением фазы сигнала. В этом виде модуляции используется четыре значения частоты несущего колебания. Таким количеством частот можно передать два символа в течение длительности одного символа.

Дальнейшее увеличение количества частот в радиоканале не имеет смысла, так как это приводит к неоправданному расширению спектра сигнала. Ширина спектра сигнала расширяется пропорционально количеству частот, а количество одновременно передаваемых бит растет пропорционально двоичному логарифму от количества использованных частот.

4. Ход работы

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).

Реализация различных типов модуляций с помощью MATLAB:

Листинг 1: Код в МатЛаб

```

1 % BPSK
2 % h = modem.pskmod('M', 2);
3 % g = modem.pskdemod('M', 2);
4 % msg = randint(10,1,2)
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=_randint(10,1,8);
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 %QPSK modulation
39 % h = modem.oqpskmod;
40 % g = modem.oqpskdemod;
41 % msg = randint(200,1,4);
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.genqamdmod('Constellation',_exp(j*2*pi*[0:M-1]/M));
60 msg=_randint(10,1,8);
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 % MFSK modulation
77 % h = modem.mskmod('SamplesPerSymbol', 10);
78 % g = modem.msksdemod('SamplesPerSymbol', 10);
79 % msg = randint(10,1,2);
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');
93
94 %MFSK modulation
95 h=_modem.mskmod('SamplesPerSymbol',_10);
96 g=_modem.msksdemod('SamplesPerSymbol',_10);
97 msg=_randint(10,1,2);
98 modSignal=_modulate(h,_msg);
99 errSignal=_ (randerr(1,100,_3)_./_30)';
100 modSignal = modSignal + errSignal;
101 demodSignal = demodulate(g, modSignal);
102 scatterplot(modSignal);
103 figure
104 plot(msg);
105 legend('The_input_message');
106 figure
107 plot(modSignal);
108 figure
109 plot(demodSignal);
110 legend('The_demodulated_message');

```

Результаты выполнения представлены на рисунках ниже:

4.1. BPSK-модуляция

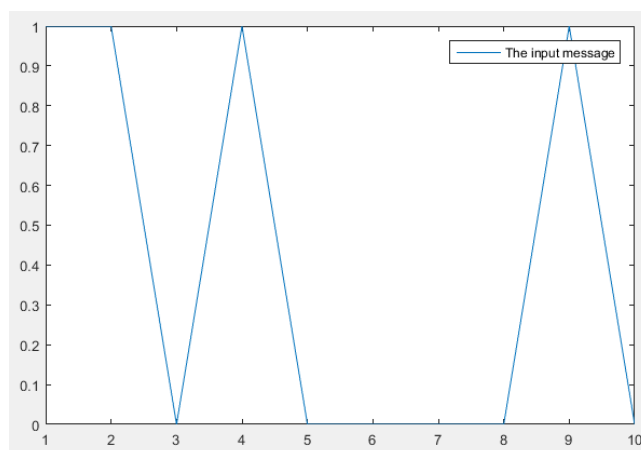


Рис. 4.1.1. Входной сигнал BPSK.

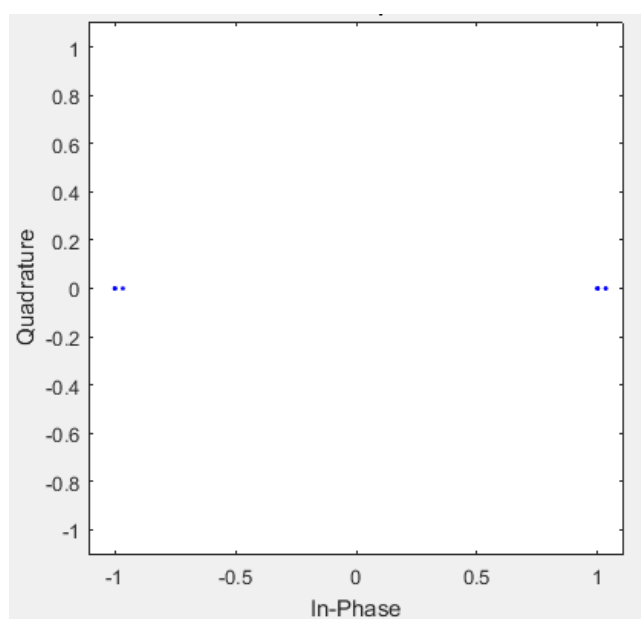


Рис. 4.1.2. Сигнальное созвездие BPSK.

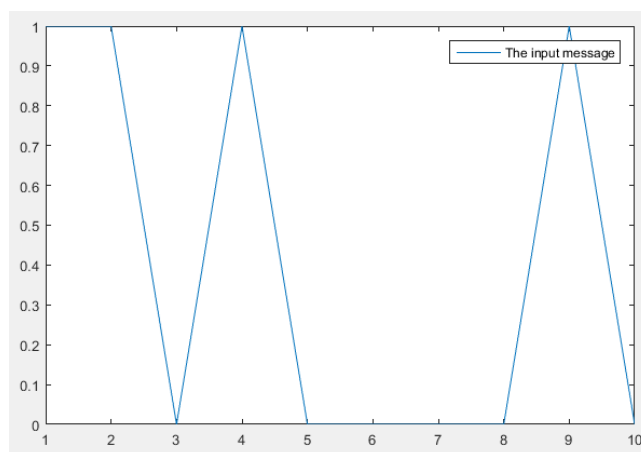


Рис. 4.1.3. Демодулированный сигнал BPSK.

4.2. PSK-модуляция

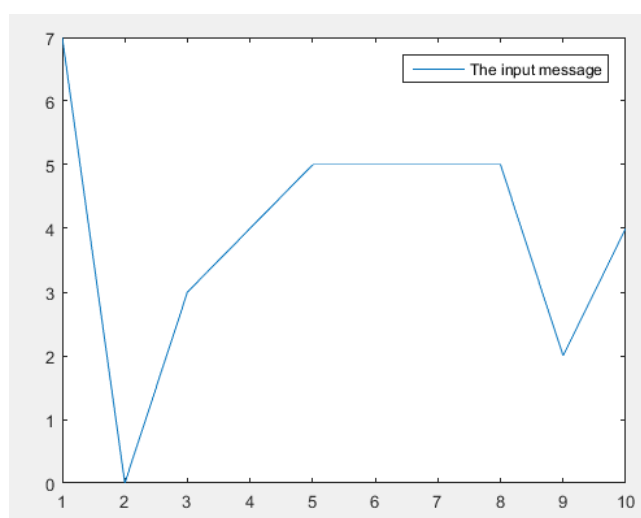


Рис. 4.2.1. Входной сигнал PSK.

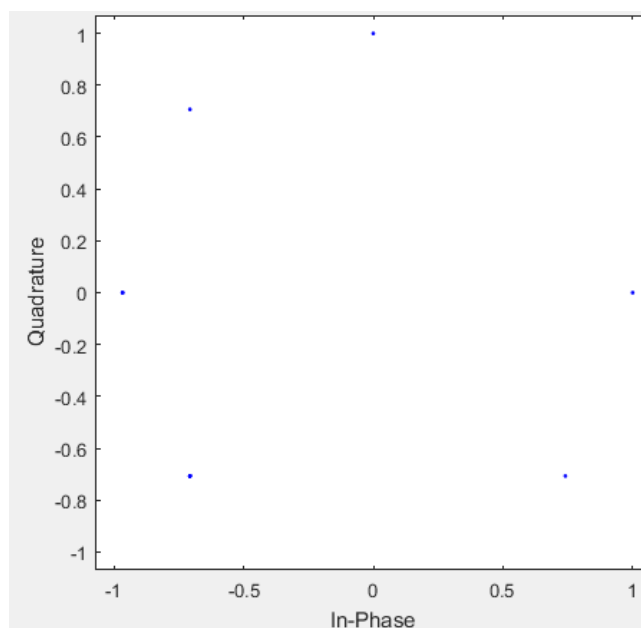


Рис. 4.2.2. Сигнальное созвездие PSK.

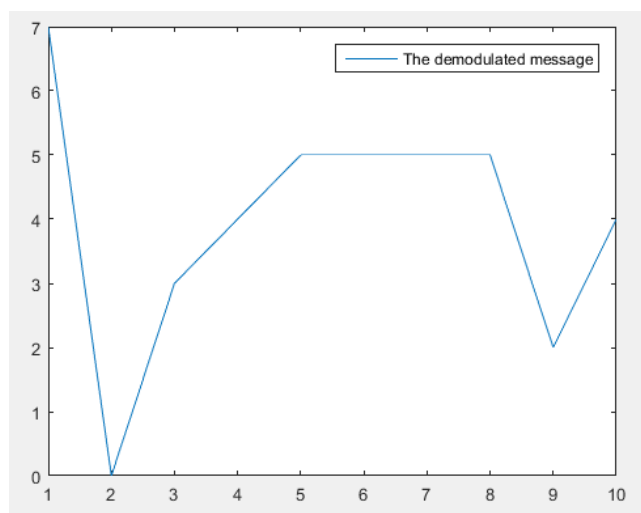


Рис. 4.2.3. Демодулированный сигнал PSK.

4.3. OQPSK-модуляция

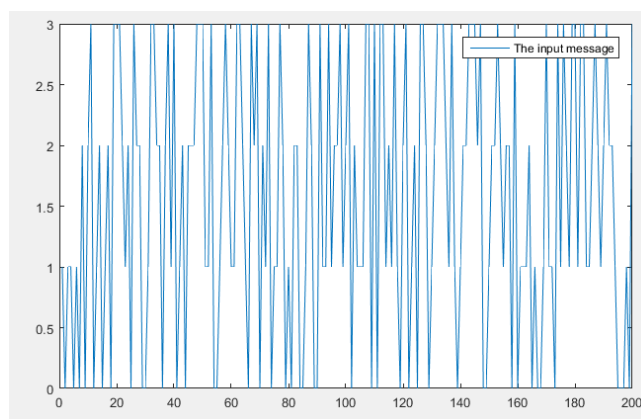


Рис. 4.3.1. Входной сигнал OQPSK.

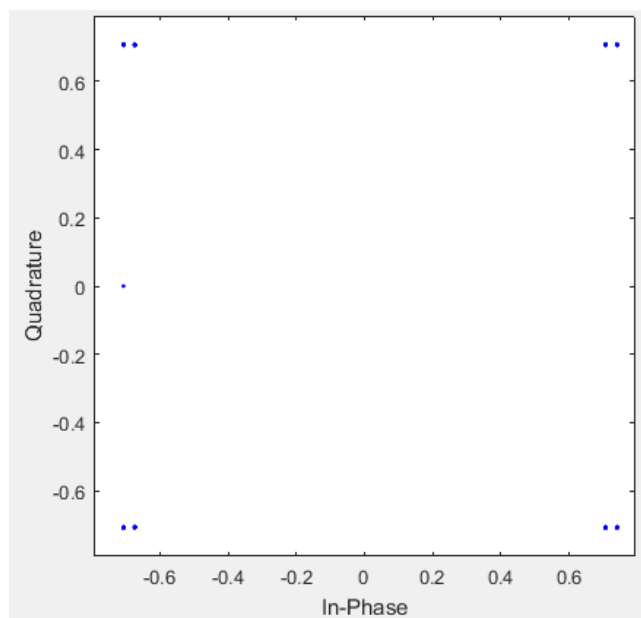


Рис. 4.3.2. Сигнальное созвездие OQPSK.

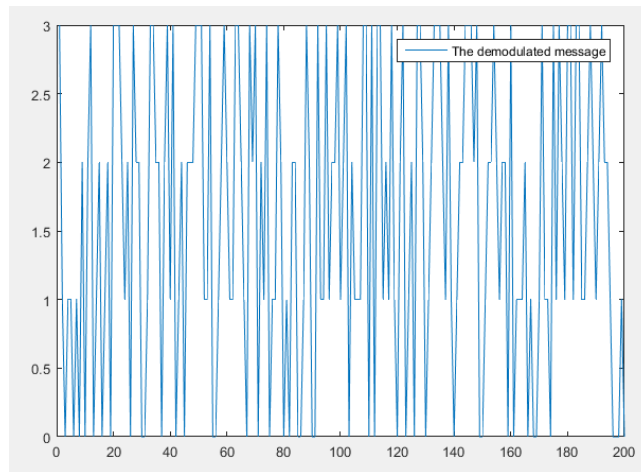


Рис. 4.3.3. Демодулированный сигнал OQPSK.

4.4. genQAM-модуляция

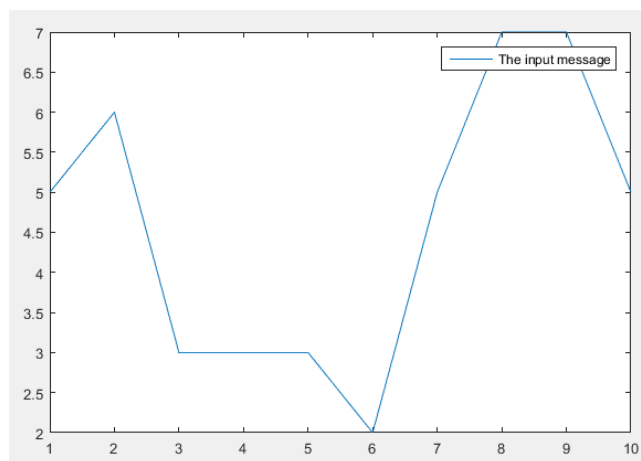


Рис. 4.4.1. Входной сигнал genQAM.

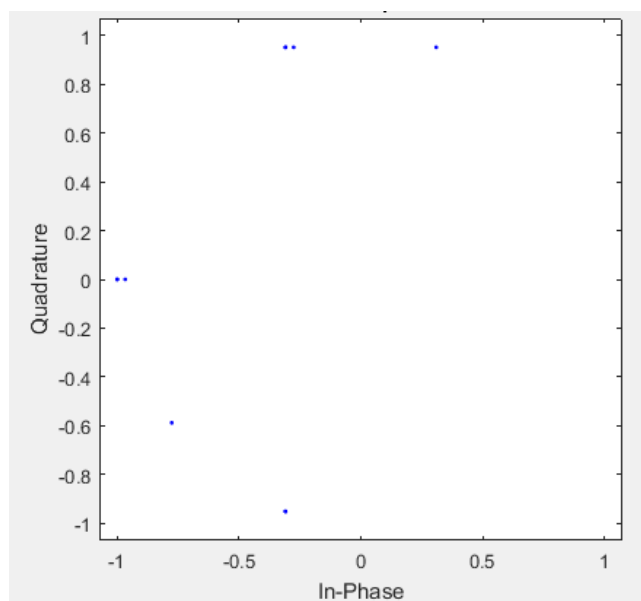


Рис. 4.4.2. Сигнальное созвездие genQAM.

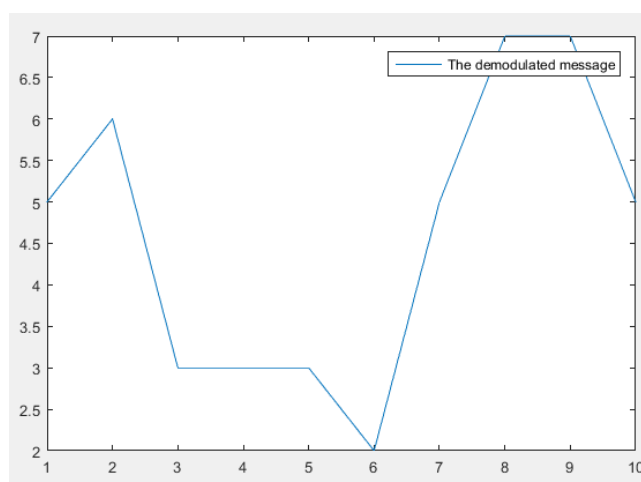


Рис. 4.4.3. Демодулированный сигнал genQAM.

4.5. MSK-модуляция

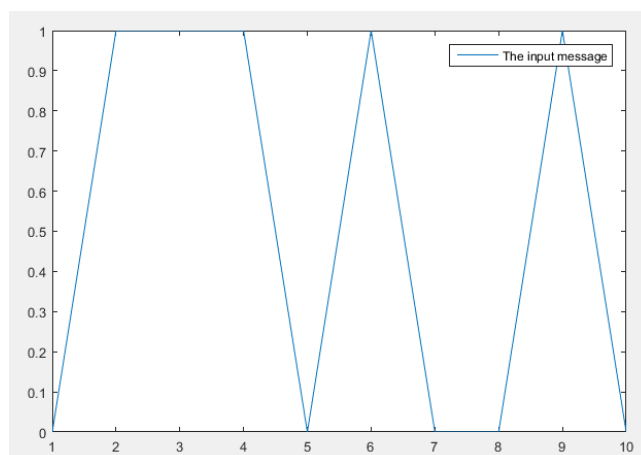


Рис. 4.5.1. Входной сигнал MSK.

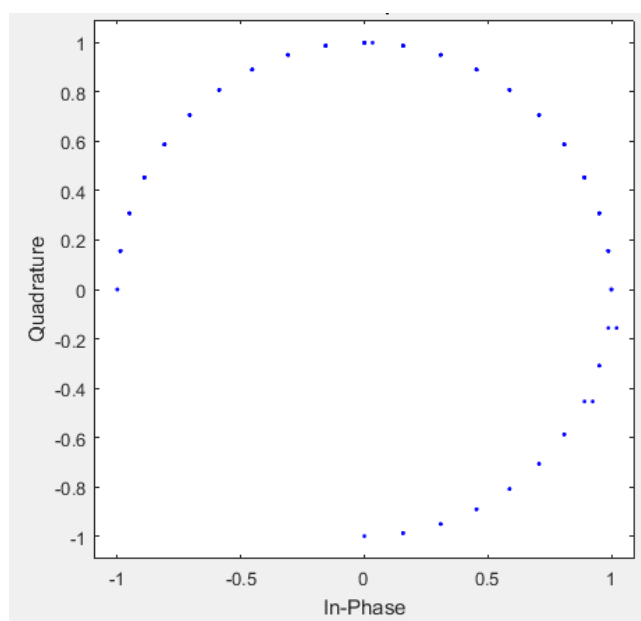


Рис. 4.5.2. Сигнальное созвездие MSK.

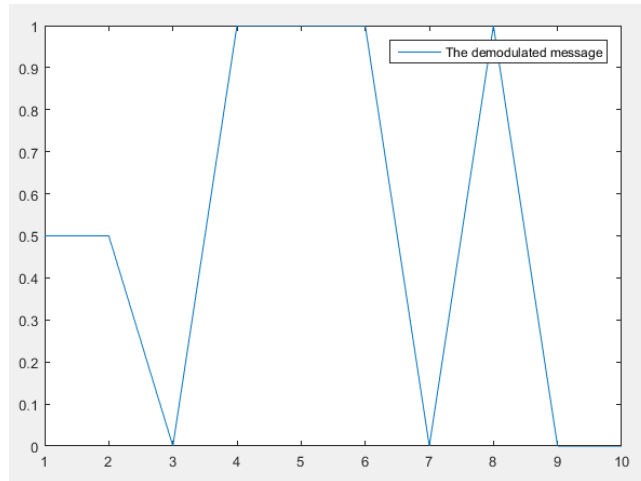


Рис. 4.5.3. Демодулированный сигнал MSK.

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.

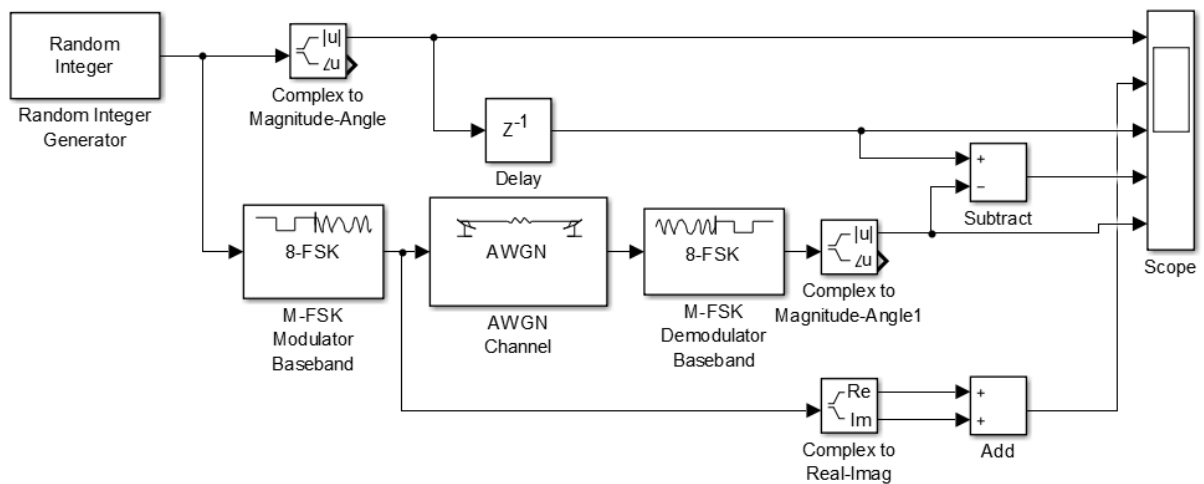


Рис. 4.6.1. Simulink-модель MFSK.

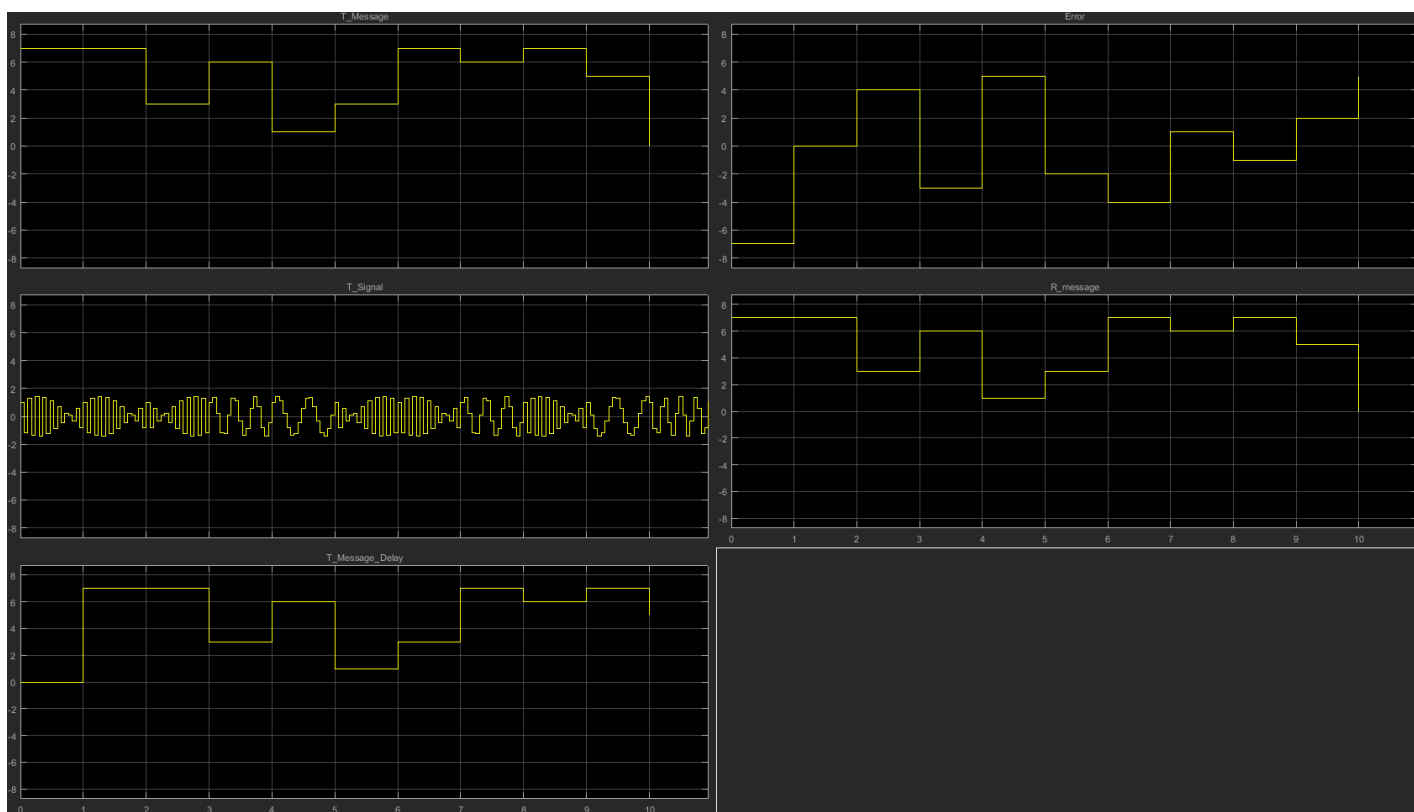


Рис. 4.6.2. Графики входного сигнала, задержанного сигнала, модулированного сигнала, сигнала ошибки с задержанным сигналом, выходного сигнала MFSK.

5. Выводы

Цифровая модуляция — процесс преобразования последовательности кодовых символов в последовательность элементов целостного сигнала. Существуют следующие типы цифровой модуляции (манипуляции): частотная манипуляция, фазовая манипуляция, амплитудная манипуляция, квадратурная амплитудная манипуляция.

Квадратурная амплитудная манипуляция (QAM) — манипуляция, при которой изменяется как фаза, так и амплитуда сигнала, что позволяет увеличить количество информации, передаваемой одним состоянием сигнала.

Фазовая манипуляция (PSK) — один из видов фазовой модуляции, при которой фаза несущего колебания меняется скачкообразно в зависимости от информационного сообщения.

Двоичная фазовая манипуляция — самая простая форма фазовой манипуляции. Работа схемы двоичной ФМн заключается в смещении фазы несущего колебания на одно из двух значений, нуль или π . Двоичную фазовую манипуляцию можно также рассматривать как частный случай квадратурной манипуляции (QAM-2).

При квадратурной фазовой манипуляции (QPSK) используется созвездие из четырёх точек, размещённых на равных расстояниях на окружности. Имеется 4 фазовых смещений, при этом в QPSK на символ приходится два бита.

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. Другими словами, индекс модуляции равен 0,5.

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. Таким образом, чем выше уровень модуляции, тем больше данных мы можем передать (или потерять) за единицу времени.