

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПЕТРА ВЕЛИКОГО

ИНСТИТУТ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И ПРОГРАММНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Отчет
по лабораторной работе №6
на тему
"Цифровая модуляция"

выполнил:
Кыльчик И.В.
группа: 33501/1
преподаватель:
Богач Н.В.

Санкт-Петербург
2018

1. Цель работы

Изучить методы модуляции цифровых сигналов.

2. Постановка задачи

Функция `randerr` предназначена для моделирования ошибок в канале. Она возвращает матрицу, в каждой строке которой имеется заданное число случайно расположенных ненулевых элементов.

Для оценки помехоустойчивости системы связи необходимо произвести сравнение исходного (передаваемого) сообщения с сообщением, полученным в результате приема, и определить число ошибок, возникших в процессе передачи, а также вероятность ошибки. Это можно выполнить функциями `symerg` и `biterr`, первая из которых подсчитывает число несовпадающих символов в двух сообщениях, а вторая — число несовпадающих битов в двоичных представлениях этих символов. Кроме числа ошибок, обе функции могут возвращать долю ошибок в общем числе символов (битов) и индикаторы мест возникновения ошибок.

Последние две функции данной группы предназначены для графического отображения сигналов с квадратурной манипуляцией. Функция `eyediagram` выводит глазковую диаграмму, а функция `scatterplot` — диаграмму рассеяния.

3. Теоретическая часть

Числа при передаче информации в цифровой форме с периодом T поступают от источника информации и называются *символами* (symbol), а частота передачи символов — *символьной скоростью* (symbol rate) $f_T = 1/T$. В практике передачи данных распространена двоичная (binary) последовательность символов, где числа передаются значениями 0 и 1.

Каждому из возможных символов устанавливается определенный набор параметров несущего колебания, которые поддерживаются постоянными на интервале T до прихода следующего символа. Это означает преобразование последовательности чисел в ступенчатый сигнал, который используется в качестве модулирующего сигнала. Соответственно, параметры несущего колебания, на которые переносится сигнал, меняются скачкообразно. Такой способ модуляции несущей обычно называется *манипуляцией* (keying).

В цифровой модуляции аналоговый несущий сигнал модулируется цифровым битовым потоком. Существуют три фундаментальных типа цифровой модуляции:

1. ASK – Amplitude shift keying (Амплитудная двоичная модуляция).
2. FSK – Frequency shift keying (Частотная двоичная модуляция).
3. PSK – Phase shift keying (Фазовая двоичная модуляция). Данный тип модуляции еще называют фазовой манипуляцией (ФМн).

Самая простая PSK схема имеет собственное название — двоичная фазовая манипуляция (Binary phase-shift keying - BPSK). **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 (180°). Двоичную фазовую манипуляцию можно также рассматривать как частный случай квадратурной манипуляции (QAM-2).

При **квадратурной фазовой манипуляции** (англ. QPSK — Quadrature Phase Shift Keying или 4-PSK) используется созвездие из четырёх точек, размещённых на равных расстояниях на окружности. Используя 4 фазы, в QPSK на символ приходится два бита. Анализ показывает, что скорость может быть увеличена в два раза относительно BPSK при той же полосе сигнала, либо оставить скорость прежней, но уменьшить полосу вдвое.

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 T . 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 синфазно-го или квадратурного канала, может вызвать изменение фазы на 0 , $+90^\circ$ или -90° .

Квадратурной амплитудной манипуляцией (КАМн; англ. Quadrature Amplitude-Shift Keying, QASK) называется манипуляция, при которой изменяется как фаза, так и амплитуда 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.

В цифровой модуляции минимальная манипуляция (MSK) - это тип непрерывной фазовой манипуляции, которая была разработана в конце 1950-х и 1960-х годах. Подобно OQPSK, MSK кодируется битами, чередующимися между квадратурными компонентами, с компонентом Q задерживающимся на половину периода символа.

Однако вместо квадратных импульсов, используемых OQPSK, MSK кодирует каждый бит как половину синусоиды. Это приводит к сигналу с постоянным модулем (постоянный сигнал огибающей), который уменьшает проблемы, вызванные нелинейными искажениями. MSK также можно рассматривать как сигнал с непрерывной фазовой частотной манипуляцией (CPFSK) с разделением частот в половину битовой скорости.

В MSK разница между более высокой и более низкой частотой идентична половине скорости передачи битов. Следовательно, формы сигналов, используемые для представления 0 и 1 бит, различаются ровно половиной периода несущей. Таким образом, максимальное отклонение частоты составляет $\delta = 0,25f_m$, где f_m - максимальная частота модуляции.

Многочастотная манипуляция (MFSK) - это вариация частотной манипуляции (FSK), которая использует более двух частот. MFSK является формой M-ричной ортогональной модуляции, где каждый символ состоит из одного элемента из алфавита ортогональных сигналов. M, размер алфавита, обычно равен двум, чтобы каждый символ представлял бит $\log_2 M$. M обычно составляет от 2 до 64.

4. Ход работы

Все эксперименты будем проводить при шуме в 20 дБ. Количество сообщений - 1000.

1. BPSK

```
close all
M = 2;
x = randi([0, M-1], 1000, 1);

y = pskmod(x, M);
y = awgn(y, 20);

z = pskdemod(y, M);
[a, b] = symerr(x, z);

eyediagram(y, 4);
scatterplot(y);
```

Количество ошибок - 0. При увеличении шума до -5 дБ получаем ошибку в 19% случаев.

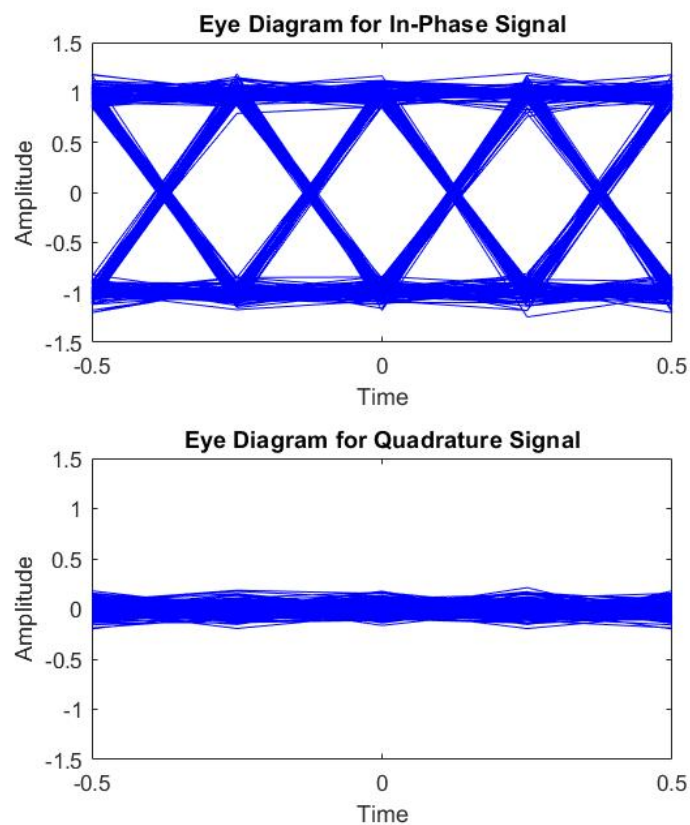


Рис. 1: Глазковая диаграмма для BPSK

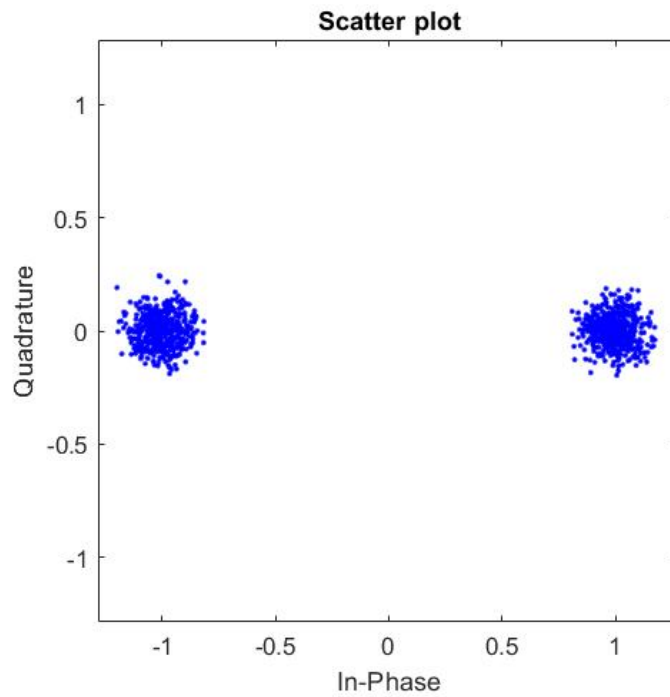


Рис. 2: Сигнальное созвездие для BPSK

2. QPSK

```
close all
M = 4;
x = randi([0, M-1], 1000, 1);

y = pskmod(x, M);
y = awgn(y, 20);

z = pskdemod(y, M);
[a, b] = symerr(x, z);

eyediagram(y, 4);
scatterplot(y);
```

Количество ошибок - 0. При увеличении шума до -5 дБ получаем ошибку в 45% случаев.

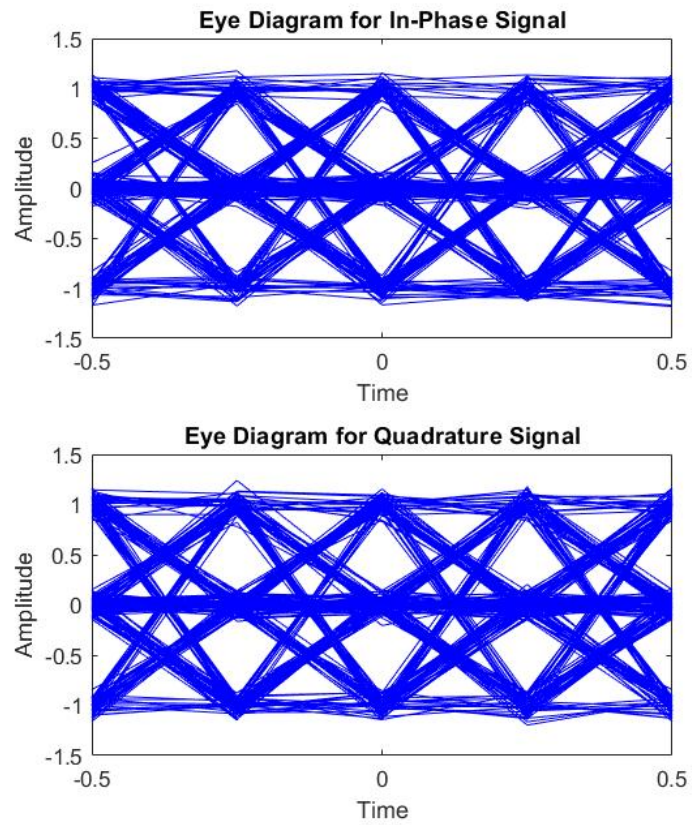


Рис. 3: Глазковая диаграмма для QPSK

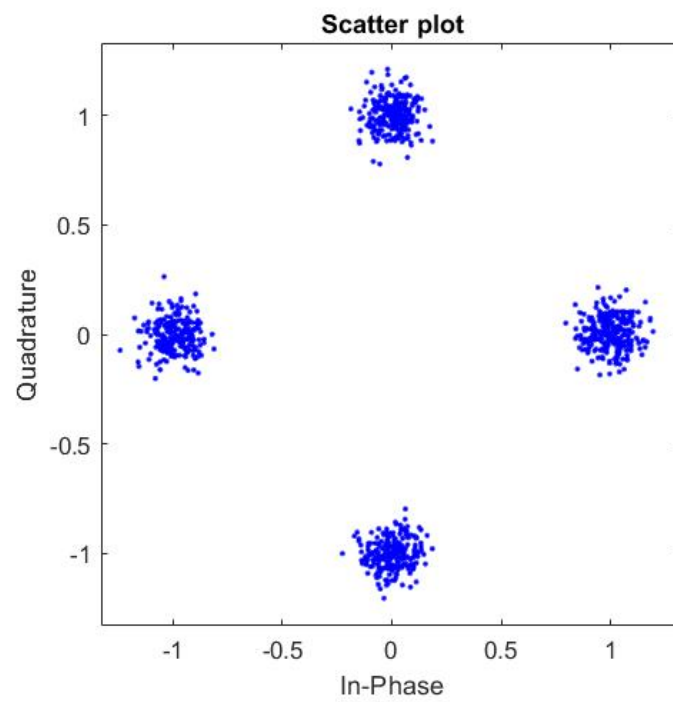


Рис. 4: Сигнальное созвездие для QPSK

3. OQPSK

```

close all
x = randi([0 3], 1000, 1);

y = oqpskmod(x);
y = awgn(y, 20);

z = oqpskdemod(y);
[a, b] = symerr(x, z);

eyediagram(y, 8);
scatterplot(y);

```

Количество ошибок - 0. При увеличении шума до -5 дБ получаем ошибку в 38% случаев.

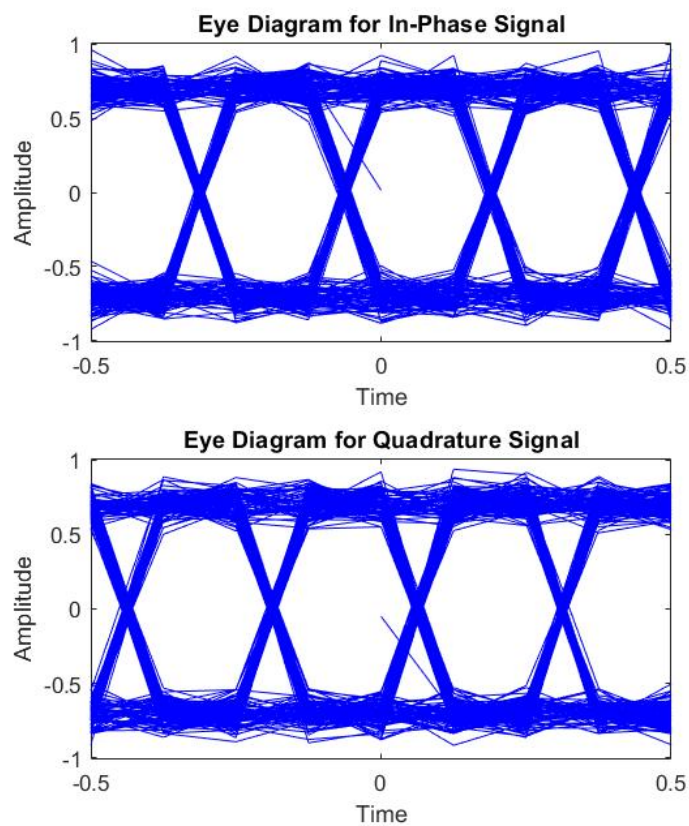


Рис. 5: Глазковая диаграмма для OQPSK

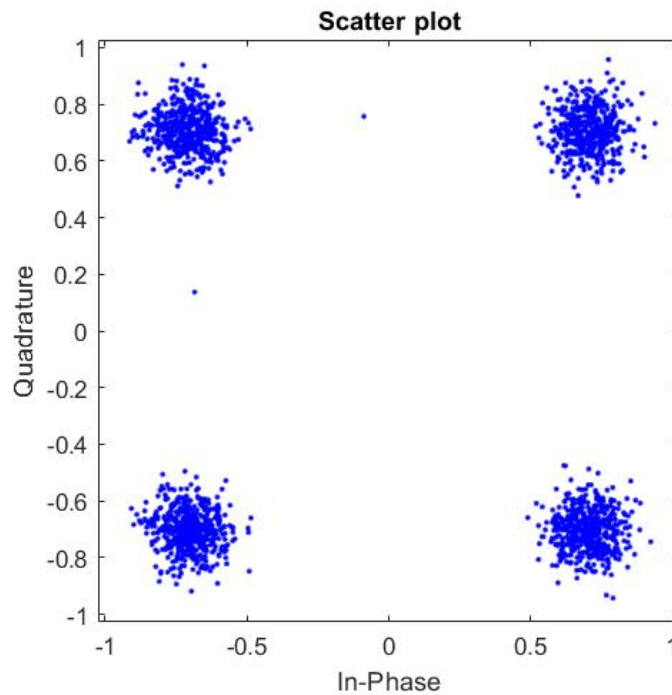


Рис. 6: Сигнальное созвездие для OQPSK

Рассмотрим PSK в общем случае и построим водопадные кривые для различных значений порядка модуляции.

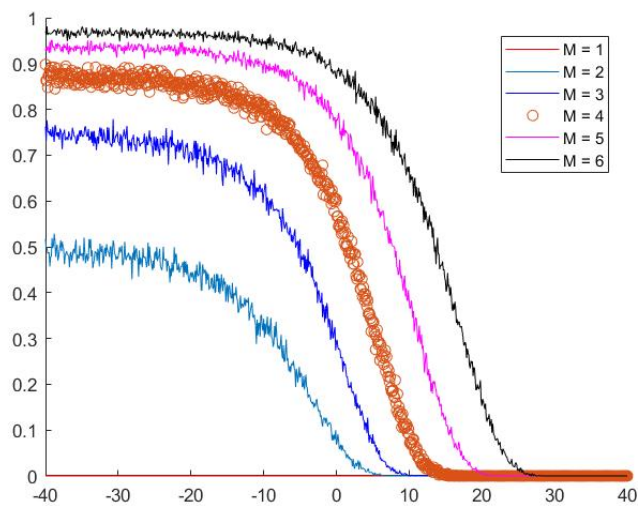


Рис. 7: Водопадные кривые для PSK

Из данного графика мы видим что самым помехоустойчивым является BPSK.

4. **genQAM**. Построим общую квадратурную амплитудную модуляцию для гексагонального созвездия.

```
close all
inphase = [1/2 1 1 1/2 1/2 2 2 5/2];
quadr = [0 1 -1 2 -2 1 -1 0];
```



```

inphase = [inphase;-inphase]; inphase = inphase(:);
quadr = [quadr;quadr]; quadr = quadr(:);
const = inphase + 1i*quadr;

```

```

M = 15;

```

```

x = randi([0 M], 1000, 1);

```

```

y = genqammod(x, const);
y = awgn(y, 20);

```

```

z = genqamdemod(y, const);
[a, b] = symerr(x, z);

```

```

eyediagram(y, 4);
scatterplot(y);

```

Количество ошибок - 0. При увеличении шума до -5 дБ получаем ошибку в 74% случаев.

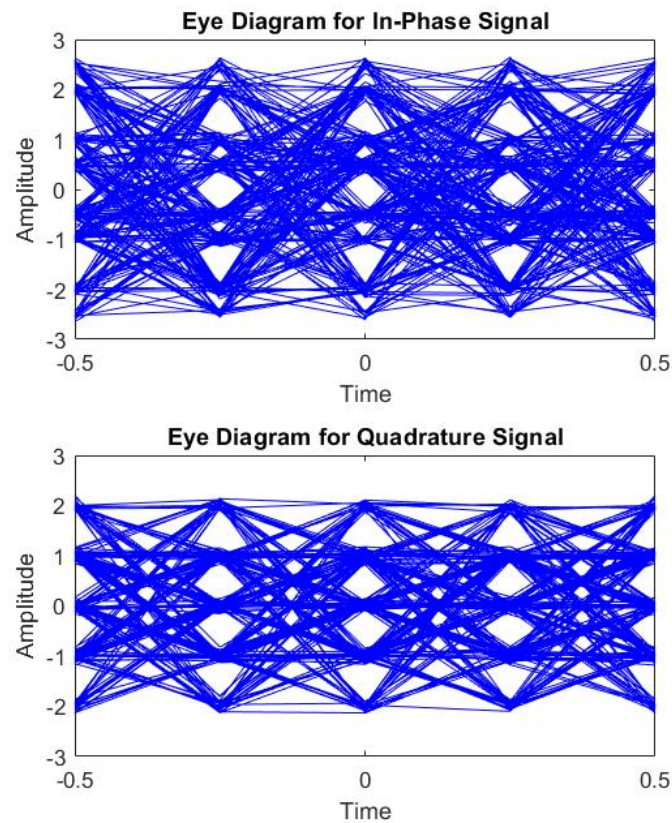


Рис. 8: Глазковая диаграмма для genQAM

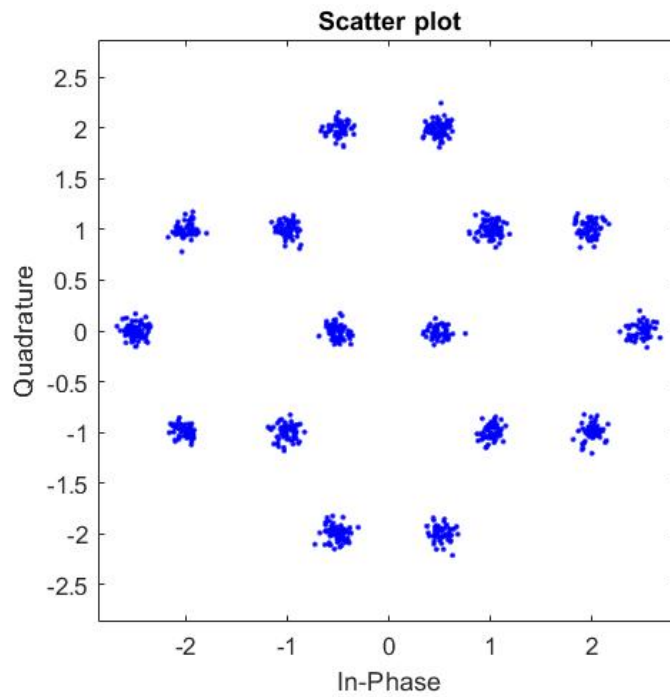


Рис. 9: Сигнальное созвездие для genQAM

5. MSK

```
close all;

M = 1;
x = randi([0 M], 1000, 1);

y = mskmod(x, 2);
y = awgn(y, 20);

z = msksdemod(y, 2);
[a, b] = symerr(x, z);

eyediagram(y, 16);
scatterplot(y);
```

Количество ошибок - 0. При увеличении шума до -5 дБ получаем ошибку в 23% случаев.

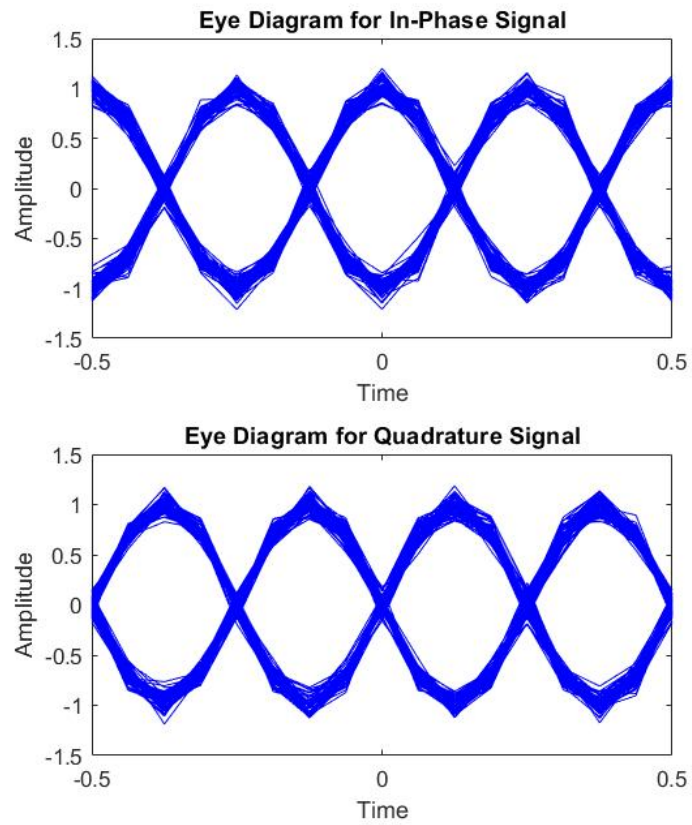


Рис. 10: Глазковая диаграмма для MSK

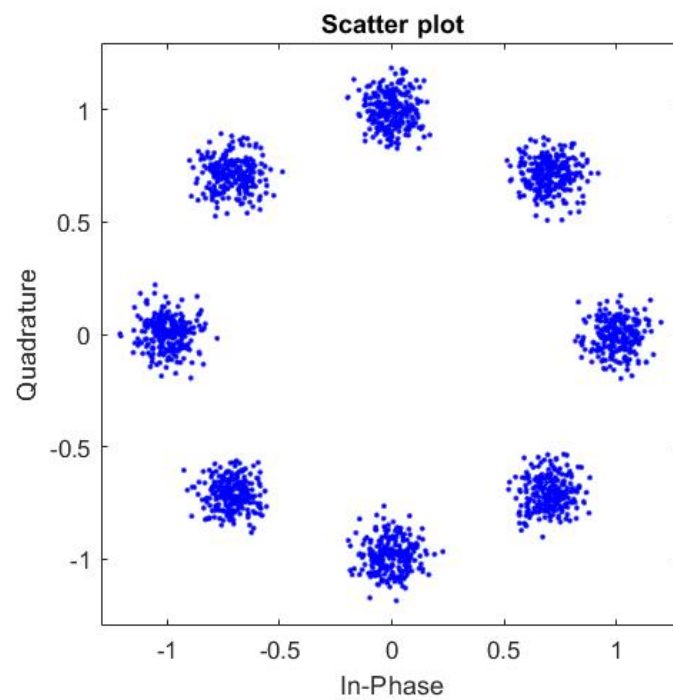


Рис. 11: Сигнальное созвездие для MSK

6. M-FSK

```

close all;

M = 4;           % Modulation order
freqsep = 8;    % Frequency separation (Hz)
nsamp = 8;      % Number of samples per symbol
Fs = 32;        % Sample rate (Hz)

x = randi([0 M-1], 1000, 1);

y = fskmod(x,M,freqsep,nsamp,Fs);
y = awgn(y, 20);

z = fskdemod(y,M,freqsep,nsamp,Fs);
[a, b] = symerr(x,z);

eyediagram(y, 16);
scatterplot(y);

```

Количество ошибок - 0. При увеличении шума до -5 дБ получаем ошибку в 28% случаев.

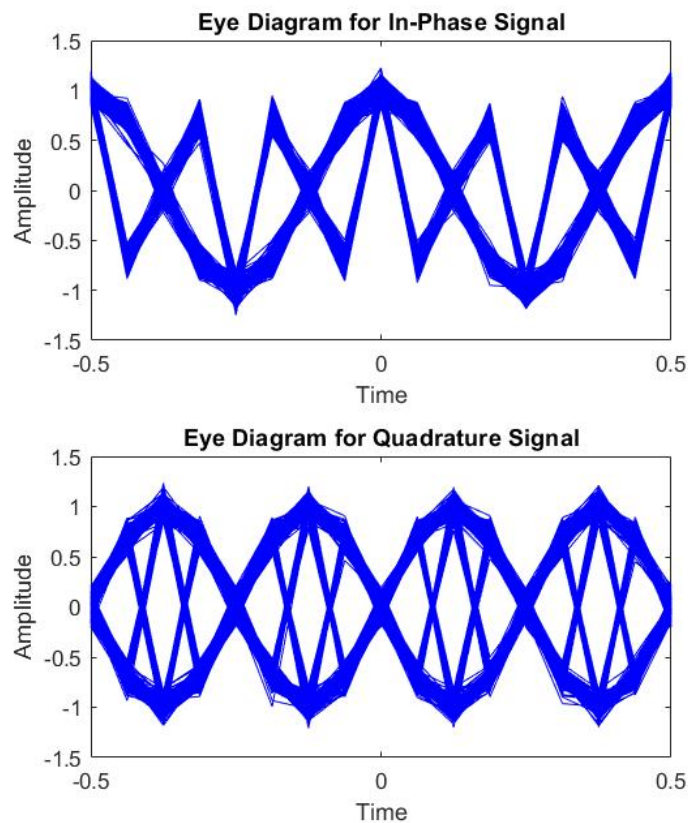


Рис. 12: Глазковая диаграмма для M-FSK

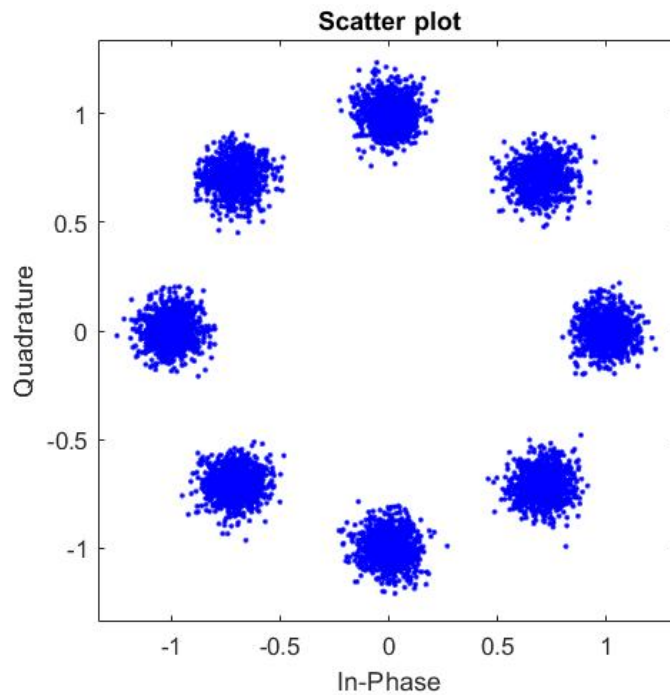


Рис. 13: Сигнальное созвездие для M-FSK

5. Вывод

В данной лабораторной работе мы изучили как цифровая модуляция на примере различных модуляторов.

По результатам исследований мы можем сделать вывод что самой помехозащищенной является BPSK манипуляция. При увеличении порядка модуляции помехозащищенность уменьшается, но увеличивается количество бит которое мы можем передать в единицу времени.

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.

Все полученные глазковые диаграммы приближены к идеальным т.к. при шуме в 20 дБ у нас не возникает значительных помех.