

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт компьютерных наук и технологий

Отчёт по лабораторной работе № 6

Выполнила студентка гр.33501/3: Ивашкевич О.А.

Преподаватель: Богач Н.В.

Санкт-Петербург  
2017

# Содержание

<b>1</b>	<b>Цель работы</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Постановка задачи</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Теоретическое обоснование</b>	<b>2</b>
3.1	Частотная манипуляция . . . . .	2
3.2	Квадратурная манипуляция . . . . .	2
<b>4</b>	<b>Ход работы</b>	<b>3</b>
4.1	BPSK . . . . .	3
4.2	PSK . . . . .	4
4.3	OQPSK . . . . .	5
4.4	genQAM . . . . .	6
4.5	MSK . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Выводы</b>	<b>7</b>

# Лабораторная работа №6. Цифровая модуляция

## 1 Цель работы

Изучение методов модуляции цифровых сигналов.

## 2 Постановка задачи

Получить сигналы BPSK, PSK, OQPSK, genQAM, MSK, M-FSK модуляторов.

Построить их сигнальные созвездия.

Провести сравнение изученных методов модуляции цифровых сигналов.

## 3 Теоретическое обоснование

В настоящее время большая часть информации, передаваемой по разнообразным каналам связи, существует в цифровом виде. Это означает, что передаче подлежит не непрерывный модулирующий сигнал, а последовательность целых чисел, которые могут принимать значения из некоторого фиксированного конечного множества. Для передачи таких сигналов возможно использование методов цифровой модуляции (манипуляции).

Типичный подход при осуществлении передачи дискретной последовательности символов состоит в следующем. Каждому значению сопоставляется набор значений параметров несущего колебания. Несущим колебанием может быть сигнал произвольной формы, но чаще используют гармонические колебания. Цифровые символы передаются с некоторым периодом  $T$ , в течение которого значение не меняется, а значит, не меняются и параметры несущего сигнала. По типу параметров, значения которых кодируют входные символы, выделяют амплитудную, частотную, фазовую и квадратурную манипуляцию.

### 3.1 Частотная манипуляция

При частотной манипуляции (frequency shift keying - FSK) каждому возможному значению передаваемого символа сопоставляется своя частота. В течении каждого символического интервала передается гармоническое колебание с частотой, соответствующей текущему символу. В общем случае при переходе от одного символа к другому происходит скачок фазы несущего колебания. Это приводит к появлению в спектре сигнала скачков на частотах, кратных символической скорости. Для борьбы с ними можно использовать частотную манипуляцию с непрерывной фазовой функцией. При этом формируется линейно без скачков за счет интегрирования, а передаваемые символы управляют скоростью ее изменения.

Демодуляция производится корреляционным методом. Т.к. разным значениям отсчетов соответствует своя частота, можно рассчитать взаимную корреляцию полученного сигнала с эталонными значениями для каждой из частот и выбрать ту, с которой корреляция максимальна. Для повышения помехоустойчивости частоты желательно, чтобы посылки, соответствующие разными символами, были некоррелированными. Для реализации требования некоррелированности должны быть выполнены следующие условия:

$$\Delta\omega_{min} = \frac{\pi}{T}, \Delta f_{min} = \frac{1}{2T} = \frac{f_T}{2}$$

, где  $f_T$  - символическая скорость.

Двухпозиционная ЧМн, частоты которой выбраны согласно формуле получила название минимальной частотной манипуляции.

### 3.2 Квадратурная манипуляция

Амплитудная и фазовая манипуляция являются частным случаем квадратурной манипуляции. При квадратурной манипуляции несущее колебание составляется по следующей формуле:

$$C_k \rightarrow (a_k, b_k), s(t) = a_k \cos(\omega_0 t) + b_k \sin(\omega_0 t), kT \leq t < (k+1)T$$

С помощью тригонометрических преобразований эту форму можно привести к виду

$$s(t) = A_k \cos(\omega_0 t + \phi_k)$$

В этой форме сигнал удобно рассматривать как комплексное число  $A_k \exp(j\phi_k)$ . Совокупность этих комплексных чисел для всех возможных значений дискретного символа называется сигнальным созвездием. Для возможности сравнения эффективности различных видов модуляции сигнальное созвездие строится для нормированных значений амплитуды и всегда расположено внутри единичной окружности на комплексной плоскости. При этом чем больше расстояние между точками созвездия, тем больше надежность манипуляции. Также квадратурная манипуляция обеспечивает большую помехоустойчивость, чем АМн и ФМн.

Деомодулируется сигнал с квадратурной манипуляцией так же, как и в случае с аналоговой квадратурной модуляции - сигнал умножается на два несущих колебания, сдвинутых по фазе относительно друг друга на 90 градусов, а результаты умножения пропускаются через ФНЧ.

## 4 Ход работы

С помощью Matlab получим сигнальные созвездия сигналов BPSK, PSK, QPSK, genQAM и MSK модуляторов:

### 4.1 BPSK

```

1 %% BPSK
2 M = 2;
3 s = randint(1, 1000, [0 M-1]); %digital message
4 ph = -pi/16;
5 bpsk = pskmod(s, M, ph); % modulation
6 h = scatterplot(bpsk, 1, 0, 'o'); % output constellation
7 grid on; hold on;
8 bpsk_err = bpsk+randerr(1,1000,100); % signal with errors
9 scatterplot(bpsk_err, 1, 0, 'r.', h);
10 title('BPSK');
11 hold off;
12 msg = pskdemod(bpsk_err, M, ph);
13 [Num,Rat] = symerr(s, msg)

```

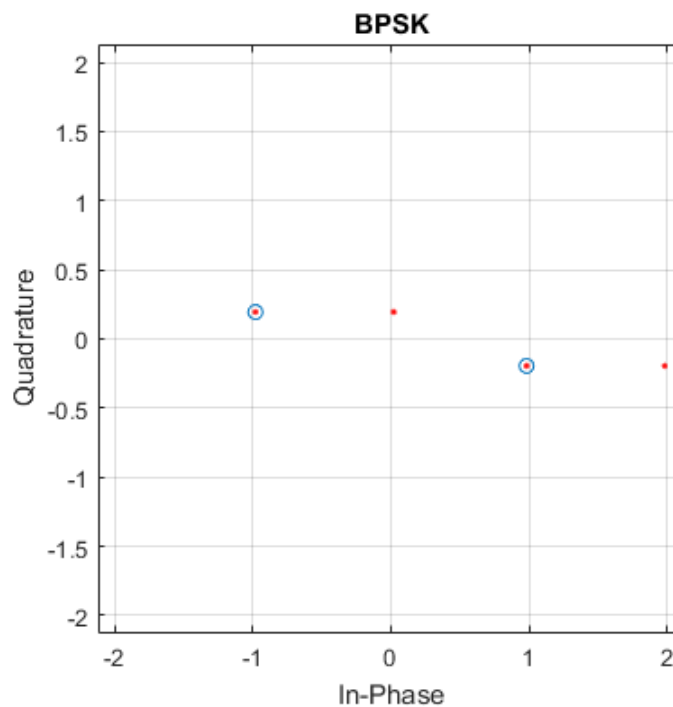


Рис. 1: Сигнальное созвездие BPSK

Результат:  $Num = 0, Rat = 0$ .

## 4.2 PSK

```
1 %%PSK
2 M = 8;
3 s = randint(1000, 1, [0 M-1]); % digital message
4 ph = pi/4;
5 psk = pskmod(s, M, ph); % modulation
6 h = scatterplot(psk, 1, 0, 'o'); % output constellation
7 grid on;
8 hold on;
9 err = randerr(1, 1000, 100)'; % massiv of errors, 100 pcs
10 psk_err = psk+err; % signal with errors
11 scatterplot(psk_err, 1, 0, 'r.', h);
12 title('8-PSK');
13 hold off;
14 msg = pskdemod(psk_err, M, ph);
15 [Num,Rat] = symerr(s, msg)
```

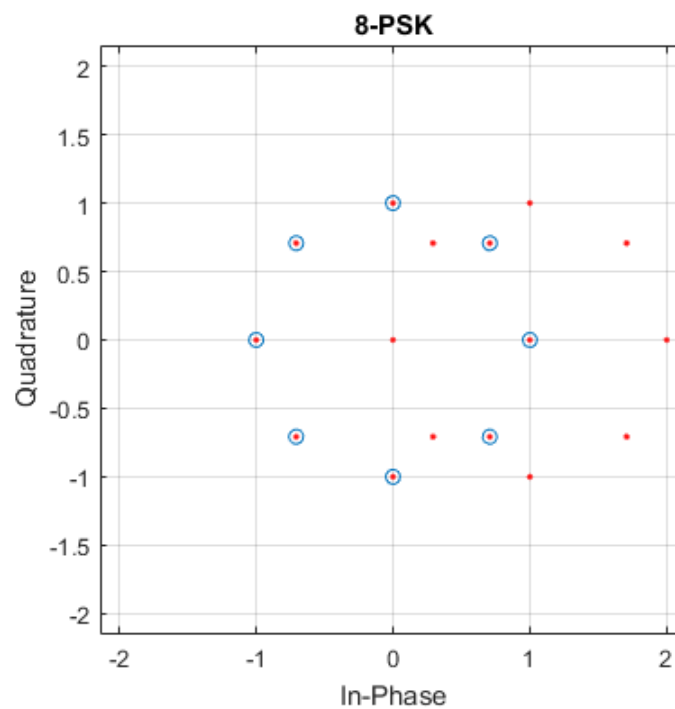


Рис. 2: Сигнальное созвездие PSK

Результат:  $Num = 73$ ,  $Rat = 0.073$ .

### 4.3 OQPSK

```
1 %% OQPSK
2 M = 4;
3 s = randint(1000, 1, [0 M-1]); % digital message
4 ph = -pi/8;
5 oqpsk = oqpskmod(s, ph); % modulation
6 h = scatterplot(oqpsk, 2, 1, 'o'); % output constellation
7 grid on;
8 hold on;
9 err = randerr(1, 2*1000, 2*100)'; % massiv of errors, 100 pcs
10 oqpsk_err = oqpsk+[err; 0]; % signal with errors
11 scatterplot(oqpsk_err, 2, 1, 'r.', h);
12 title('OQPSK');
13 hold off;
14 msg = oqpskdemod(oqpsk_err, ph);
15 [Num,Rat] = symerr(s, msg)
```

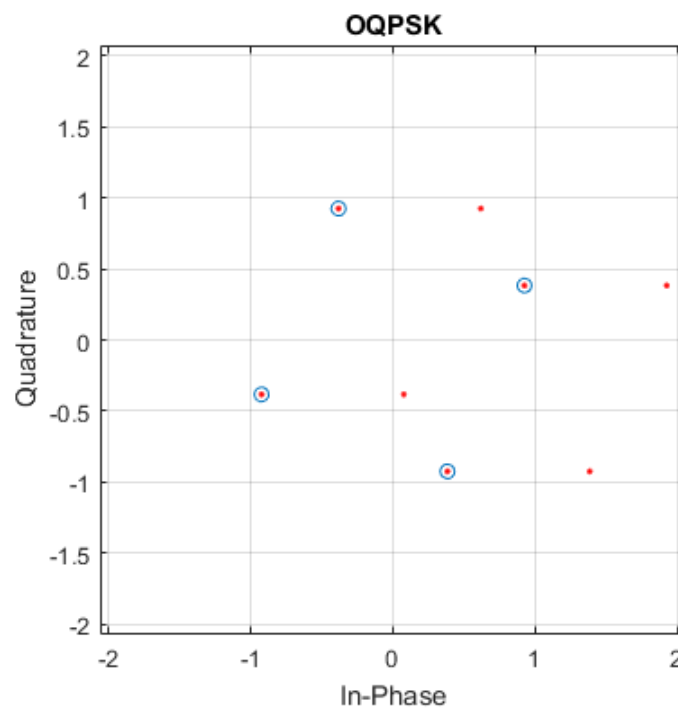


Рис. 3: Сигнальное созвездие OQPSK

Результат:  $Num = 4, Rat = 0.004$ .

## 4.4 genQAM

```
1 %% genQAM
2 c = [2i -5i -5 5 3.5-2.5i -3.5-2.5i -4.75+2i +4.75+2i -4+3.25i +4+3.25i -3+4i 3+4i ...
      -1.7+3.5i 1.7+3.5i -0.8+2.75i 0.8+2.75i];
3 M = length(c); % 16
4
5 s = randint(1000, 1, [0 M-1]);
6 modData = genqammod(s, c);
7 h = scatterplot(modData, 1, 0, 'o');
8 grid on;
9 hold on;
10 rxSig = modData + randerr(1, 1000, 100)';
11 scatterplot(rxSig, 1, 0, 'r.', h);
12 title('QAM');
13 hold off;
14 z = genqamdemod(rxSig, c);
15 [Num,Rat] = symerr(s, z)
```

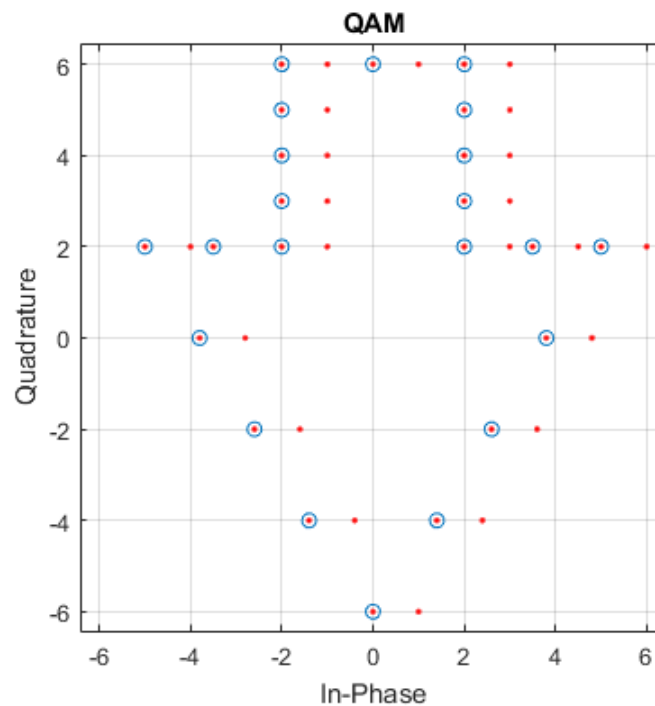


Рис. 4: Сигнальное созвездие genQAM

Результат:  $Num = 27, Rat = 0.027$ .

## 4.5 MSK

```
1 %% MSK
2 s = randint(1000, 1, [0 1]);
3 ph = pi/2;
4 msk = mskmod(s, 8, [], ph);
5 h = scatterplot(msk, 8, 0, 'o'); % output constellation
6 grid on;
7 hold on;
8 msk_err = msk-randerr(1, 8*1000, 8*100)'; % signal with errors
9 scatterplot(msk_err, 8, 0, 'r.', h);
10 title('MSK');
11 hold off;
12 msg = mskdemod(msk_err, 8, [], ph);
13 [Num,Rat] = symerr(s, msg)
```

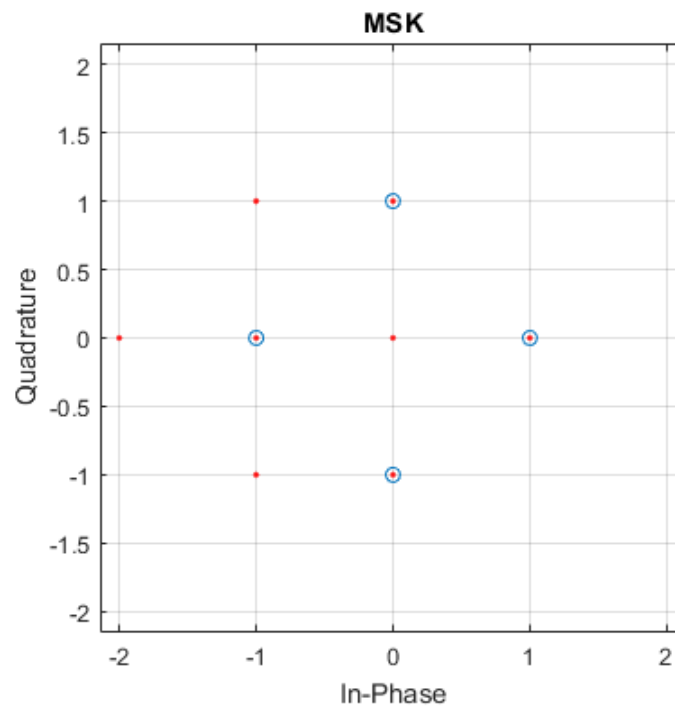


Рис. 5: Сигнальное созвездие MSK

Результат:  $Num = 0$ ,  $Rat = 0.0$ .

## 5 Выводы

По итогам работы было получено, что наибольшая ошибка в QAM модуляторе, которая обуславливается большим количеством закодированным символов, по причине, маленького расстояния Хэмминга между ближайшими точками созвездия на комплексной плоскости. Однако, скорость QAM большая. PSK сигнал демодулирован без ошибок. При демодуляции сигнала MSK получено меньше ошибок, так как в нем закодировано меньше символов, чем в QAM.