

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:
Балсутьев В.А.
Группа: 33501/4
Преподаватель:
Богач Н.В.

Санкт-Петербург
2017

Содержание

1. Цель работы	2
2. Теоретическая информация	2
2.1. Частотная манипуляция	2
2.2. Минимальная частотная манипуляция	2
2.3. Фазовая манипуляция	3
2.3.1. Двоичная фазовая манипуляция	3
2.3.2. Квадратурная фазовая манипуляция	3
2.3.3. Квадратурная фазовая манипуляция	4
3. Ход выполнения работы	4
3.1. BPSK	4
3.2. PSK	5
3.3. OQPSK	5
3.4. genQAM	6
3.5. MSK	6
3.6. Выводы	6

1. Цель работы

Изучение методов модуляции цифровых сигналов.

2. Теоретическая информация

В настоящее время все большая часть информации, передаваемой по разнообразным каналам связи, существует в цифровом виде. Это означает, что передаче подлежит не непрерывный (аналоговый) модулирующий сигнал, а последовательность целых чисел n_0, n_1, n_2, \dots , которые могут принимать значения из некоторого фиксированного конечного множества. Эти числа, называемые символами (symbol), поступают от источника информации с периодом T , а частота, соответствующая этому периоду, называется символьной скоростью (symbol rate): $f_T = 1/T$.

Последовательность передаваемых символов является, очевидно, дискретным сигналом. Поскольку символы принимают значения из конечного множества, этот сигнал фактически является и квантованным, то есть цифровым сигналом. Типичный подход при осуществлении передачи дискретной последовательности символов состоит в следующем. Каждому из возможных значений символа сопоставляется некоторый набор параметров несущего колебания. Эти параметры поддерживаются постоянными в течение интервала T , то есть до прихода следующего символа. Фактически это означает преобразование последовательности чисел (n_k) в ступенчатый сигнал $S_n(t)$ с использованием кусочно-постоянной интерполяции:

$$s_n(t) = f(n_k), kT < t < (k+1)T$$

Здесь f — некоторая функция преобразования. Полученный сигнал $s_n(t)$ далее используется в качестве модулирующего сигнала обычным способом. Такой способ модуляции, когда параметры несущего колебания меняются скачкообразно, называется манипуляцией (keying). В зависимости от того, какие именно параметры изменяются, различают амплитудную (АМн), фазовую (ФМн), частотную (ЧМн) и квадратурную (КАМн) манипуляцию. Кроме того, при передаче цифровой информации может использоваться несущее колебание, отличное по форме от гармонического. Так, при использовании в качестве несущего колебания последовательности прямоугольных импульсов возможны амплитудно-импульсная (АИМ), широтно-импульсная (ШИМ) и время-импульсная (ВИМ) модуляция.

2.1. Частотная манипуляция

При частотной манипуляции (ЧМн; английский термин — frequency shift keying, FSK) каждому возможному значению передаваемого символа сопоставляется своя частота. В течение каждого символьного интервала передается гармоническое колебание с частотой, соответствующей текущему символу.

2.2. Минимальная частотная манипуляция

Для повышения помехоустойчивости ЧМн желательно, чтобы посылки, соответствующие разным символам, были некоррелированы. Считая начальные фазы посылок нулевыми, ЧМн-сигналы для символов 0 и 1 можно записать так:

$$s_0(t) = A \cos(\omega_0 t), 0 \leq t \leq T$$

$$s_1(t) = A \cos(\omega_1 t), 0 \leq t \leq T$$

Их ВКФ при нулевом временном сдвиге равна

$$B_{01} = \int_0^T s_0(t)s_1(t)dt = A^2 \int_0^T \cos(\omega_0 t) \cos(\omega_1 t)dt = \frac{A^2 \sin(\omega_1 + \omega_0)T}{2(\omega_1 + \omega_0)} + \frac{A^2 \sin(\omega_1 - \omega_0)T}{2(\omega_1 - \omega_0)}.$$

Если $(\omega_1 + \omega_0)T \gg 1$, то первое слагаемое значительно меньше второго и им можно пренебречь:

$$B_{01} = \frac{A^2 \sin(\omega_1 - \omega_0)T}{2(\omega_1 - \omega_0)}$$

Это значение равно нулю при $(\omega_1 - \omega_0)T = \pi k$, где k - целое число, не равное нулю. Таким образом, минимальное значение расстояния между частотами манипуляции, при котором посылки, соответствующие разным символам, оказываются некоррелированными, составляет:

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

где f_T - символьная скорость.

Двухпозиционная (бинарная) ЧМн, частоты которой выбраны согласно последней формуле, получила название минимальной частотной манипуляции (minimal shift keying MSK).

2.3. Фазовая манипуляция

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

Фазоманипулированный сигнал имеет следующий вид:

$$s_m(t) = g(t) \cos(2\pi f_c t + \phi_m(t)),$$

где $g(t)$ определяет огибающую сигнала; $\phi_m(t)$ является модулирующим сигналом. $\phi_m(t)$ может принимать M дискретных значений. f_c — частота несущей.

2.3.1. Двоичная фазовая манипуляция

Двоичная фазовая манипуляция (binary phase-shift keying BPSK) — самая простая форма фазовой манипуляции. Работа схемы двоичной ФМн заключается в смещении фазы несущего колебания на одно из двух значений, нуль или $\pi(180^\circ)$. Двоичную фазовую манипуляцию можно также рассматривать как частный случай квадратурной манипуляции (QAM-2).

2.3.2. Квадратурная фазовая манипуляция

При квадратурной фазовой манипуляции (Quadrature Phase Shift Keying QPSK или 4-PSK) используется созвездие из четырёх точек, размещённых на равных расстояниях на окружности. Используя 4 фазы, в QPSK на символ приходится два бита, как показано на рисунке. 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. Хотя QPSK можно считать квадратурной манипуляцией (QAM-4), иногда её проще рассматривать в виде двух независимых модулированных несущих, сдвинутых на 90° . При таком подходе чётные (нечётные) биты используются для модуляции синфазной составляющей I , а нечётные (чётные) — квадратурной составляющей несущей Q . Так как BPSK используется для обеих составляющих несущей, то они могут быть демодулированы независимо.

2.3.3. Квадратурная фазовая манипуляция

При квадратурной фазовой модуляции наблюдается непостоянство огибающей сигнала. Уменьшить изменения огибающей сигнала с квадратурной фазовой модуляцией, вызванные ограничением полосы, можно введением задержки модулирующего сигнала в квадратурном канале по отношению к синфазному каналу. Этот вид модуляции называется квадратурной фазовой манипуляцией со сдвигом (offset quadrature phase shift keying OQPSK). При такой модуляции квадратурные составляющие модулирующего сигнала смещены во времени на величину половины длительности символа. Благодаря этому исключаются изменения фазы.

3. Ход выполнения работы

3.1. BPSK

Вспользовавшись стандартными функциями MATLAB и пакета Signal Processing, получаем созвездие двоичной фазовой манипуляции.

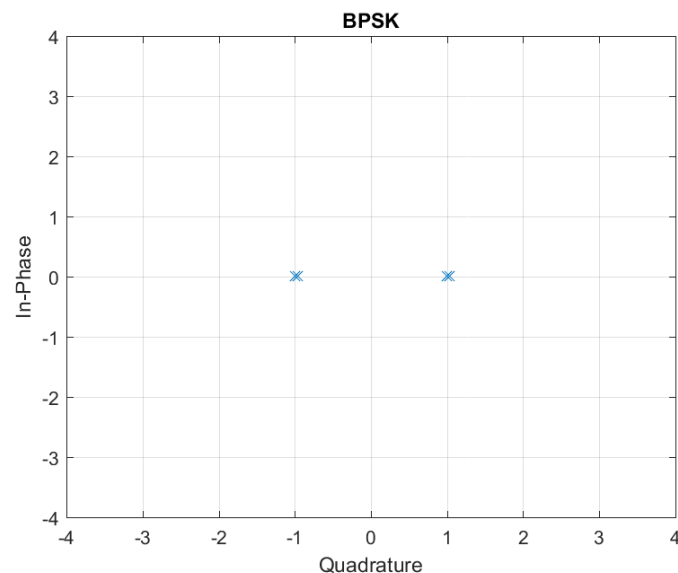


Рисунок 3.1. BPSK

3.2. PSK

Далее действуя аналогичным образом, построим созвездие для общего случая фазовой манипуляции.

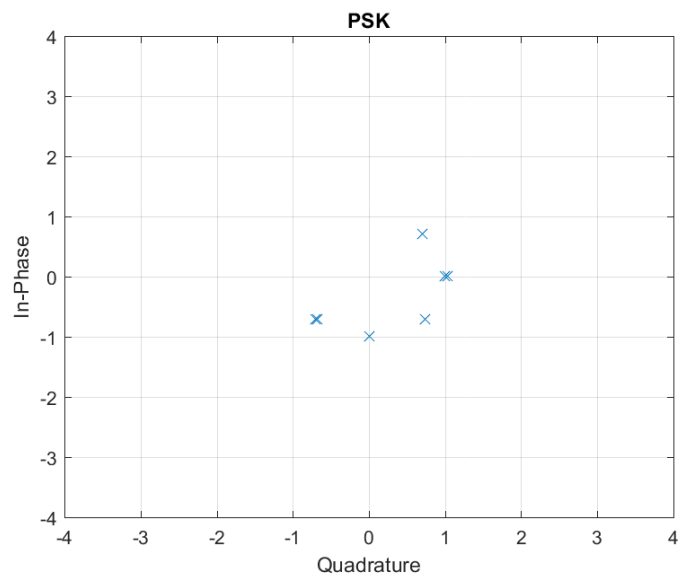


Рисунок 3.2. PSK

3.3. OQPSK

Теперь построим созвездие при квадратурной манипуляции со сдвигом.

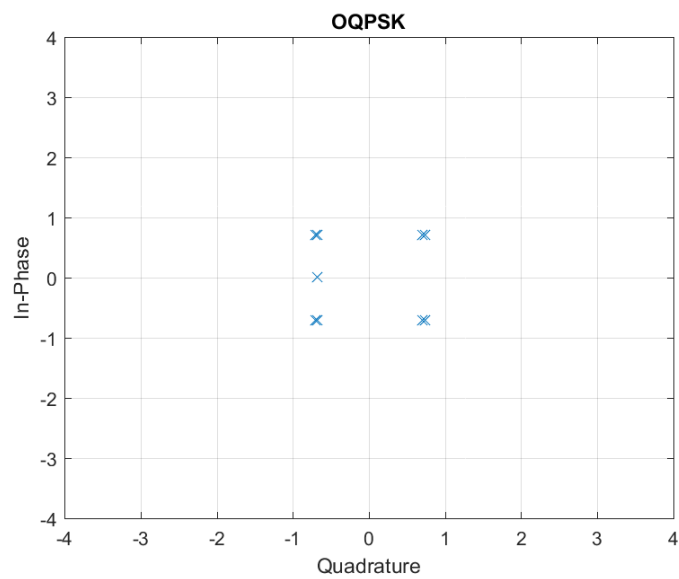


Рисунок 3.3. OQPSK

3.4. genQAM

Далее рассмотрим обычную квадратурной модуляции и его созвездие.

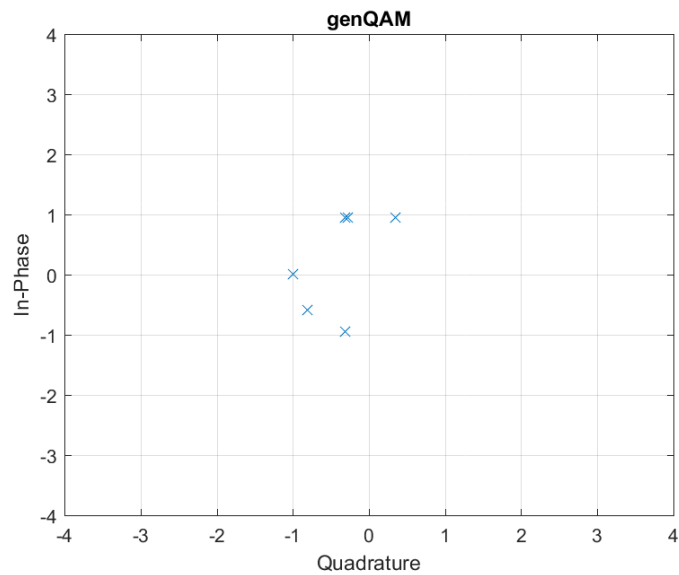


Рисунок 3.4. genQAM

3.5. MSK

Теперь построим созвездие минимальной частотной модуляции.

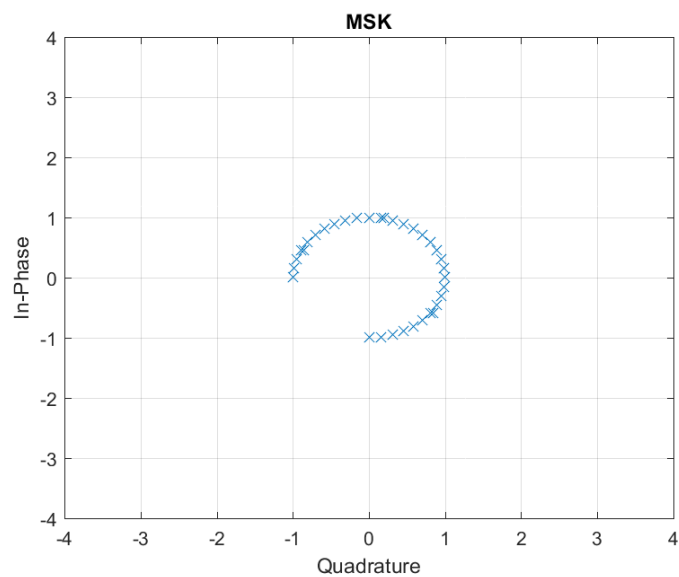


Рисунок 3.5. MSK

Листинг 1: lab06.m

```
1 function lab06()
2
3 close all;
4 clc;
5 work_path = 'C:\Users\Vovas\YandexDisk\3_course\telecom\labs\lab06\pictures\';
6 function_plot_cons(sig, _path, _fig_title)
7 f = figure;
8 plot(sig, 'x', 'markersize', 8);
```

```

9  _____grid_on;
10 _____title(fig_title)
11 _____xlim([-4 4]);
12 _____ylim([-4 4]);
13 _____xlabel('Quadrature');
14 _____ylabel('In-Phase');
15 _____saveas(f, _path, _'png');
16 end
17
18 %%_BPSK, _PSK, _OQPSK, _genQAM, _MSK
19
20 %%_BPSK
21 h=_modem.pskmod('M', _2);
22 g=_modem.pskdemod('M', _2);
23 msg=_randint(10,1,2)
24 modSignal=_modulate(h,msg);
25 errSignal=_ (randerr(1,10, _3) _./ _30)';
26 modSignal = modSignal + errSignal;
27 demodSignal = demodulate(g, modSignal);
28 plot_cons(modSignal, [work_path 'bpsk.png'], 'BPSK');
29
30 %% PSK
31 h = modem.pskmod('M', 8);
32 g = modem.pskdemod('M', 8);
33 msg = randint(10,1,8);
34 modSignal = modulate(h,msg);
35 errSignal = (randerr(1,10, 3) ./ 30)';
36 modSignal=_modSignal+_errSignal;
37 demodSignal=_demodulate(g, modSignal);
38 plot_cons(modSignal, _[work_path _'psk.png'], 'PSK');
39
40 %%_OQPSK
41 h=_modem.oqpskmod;
42 g=_modem.oqpskdemod;
43 msg=_randint(200,1,4);
44 modSignal=_modulate(h,msg);
45 errSignal=_ (randerr(1,400, _100) _./ _30)';
46 modSignal = modSignal + errSignal;
47 demodSignal = demodulate(g, modSignal);
48 plot_cons(modSignal, [work_path 'oqpsk.png'], 'OQPSK');
49
50 %% genQAM
51 M = 10;
52 h = modem.genqammod('Constellation', exp(j*2*pi*[0:M-1]/M));
53 g = modem.genqamdemod('Constellation', exp(j*2*pi*[0:M-1]/M));
54 msg = randint(10,1,8);
55 modSignal = modulate(h,msg);
56 errSignal = (randerr(1,10, 3) ./ 30)';
57 modSignal=_modSignal+_errSignal;
58 demodSignal=_demodulate(g, modSignal);
59 plot_cons(modSignal, _[work_path _'genqam.png'], 'genQAM');
60
61 %%_MSK_modulation
62 h=_modem.mskmod('SamplesPerSymbol', _10);
63 g=_modem.mskdemod('SamplesPerSymbol', _10);
64 msg=_randint(10,1,2);
65 modSignal=_modulate(h, _msg);
66 errSignal=_ (randerr(1,100, _3) _./ _30)';
67 modSignal = modSignal + errSignal;
68 demodSignal = demodulate(g, modSignal);

```



```

69 plot_cons(modSignal, [work_path 'msk.png'], 'MSK');
70
71 end
72
73
74 % BPSK, PSK, QPSK, genQAM, MSK, MFSK
75
76
77 % h = modem.pskmod('M', 4); % Modulator object
78 % g = modem.pskdemod('M', 4); % Demodulator object
79 % msg = randint(10,1,4); % Modulating message
80 % modSignal = modulate(h,msg); % Modulate signal
81
82
83 % figHandles = get(0,'Children');
84 % saveas(figHandles, 'C:\Users\Vovas\YandexDisk\3_course\telecom\labs\lab06\fig\
    ↪ fig01.png', 'png');
85
86
87
88
89 % M = 16; % Modulation alphabet size
90 % phOffset = 0; % Phase offset
91 % symMap = 'binary'; % Symbol mapping (either 'binary' or 'gray')
92 % hMod = comm.PSKModulator(M, phOffset, 'SymbolMapping', symMap);
93 % constellation(h)
94
95
96
97 % to perform QPSK modulation and demodulation
98 % h = modem.pskmod('M', 4); % Modulator object
99 % g = modem.pskdemod('M', 4); % Demodulator object
100 % msg = randint(10,1,4); % Modulating message
101
102 % modSignal = modulate(h,msg); % Modulate signal
103 % demodSignal = demodulate(g,modSignal); % Demodulate sig

```

3.6. Выводы

Цифровая модуляция — процесс преобразования последовательности кодовых символов в последовательность элементов сигнала. Существуют следующие типы манипуляций: 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 (180°). 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. 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.

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. MSK уникальна потому, 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 модуляция обладает. 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.