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

Лабораторная работа №6
по теме
"Цифровая модуляция"

Выполнил студент группы 33501/3
_______________ Кисличенко Б. Д

Руководитель
_______________ Богач Н. В

Санкт-Петербург
2018

1 Цель

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 Цифровая модуляция

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 зависимости от изменяемых параметров манипуляцию разделяют на амплитудную, фазовую, частотную и квадратурную.

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.

MSK (minimum shift key) - **манипуляция с минимальным сдвигом частоты.** Разность частот сигналов, соответствующих различным битам, равна половине скорости передачи информации. Манипуляция называется с минимальным сдвигом частоты, так как значение $\Delta f = \frac{1}{2T}$ является минимальной разностью частот, при котором сигналы с различными частотами, являются ортогональными.

MFSK - **Многопозиционная частотная манипуляция.** Метод манипуляции, при котором N дискретных состояних входного сигнала преобразуются в набор из N фиксированных частот, передаваемых параллельно или последовательно.

Амплитудная манипуляция (АМн; английский термин - amplitude shift keying, **ASK**), при которой скачкообразно меняется амплитуда несущего колебания, является частным случаем квадратурной манипуляции.

Фазовая манипуляция (ФМн; английский термин - phase shift keying, **PSK**), при которой скачкообразно меняется фаза несущего колебания, тоже является частным случаем квадратурной манипуляции.

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; t - время.

Если M=2, то фазовая манипуляция называется двоичной фазовой манипуляцией (**BPSK**, B-Binary — 1 бит на 1 смену фазы), если M=4 — квадратурной фазовой манипуляцией (**QPSK**, Q-Quadro — 2 бита на 1 смену фазы)

ini$_phase$**OQPSK**$(OffsetQPSK)$ – **Четырехфазная ФМ со сдвигом**.$180,,.OQPSK, -$ $4,,x(t)y(t)$.

При **квадратурной манипуляции** (КАМн; английский термин - quadrature amplitude shift keying, **QASK**) каждому из возможных значений дискретного символа C_k ставится в соответствие пара величин - амплитуды синфазной и квадратурной составляющих либо, что эквивалентно, амплитуда и начальная фаза несущего колебания:

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

Параметры аналогового колебания, сопоставленные дискретному символу C_k, удобно представлять в виде комплексного числа в алгебраической $(a_k + jb_k)$ или экспоненциальной $(A_k exp(j\phi_k))$ форме. Совокупность этих комплексных чисел для всех возможных значений дискретного символа называется **сигнальным созвездием**.

При представлении дискретного символа комплексным числом C_k сигнал с квадратурной манипуляцией можно записать следующим образом:

$$s(t) = Re(C_k exp(-j\omega_0 t)), kT <= t < (k+1)T.$$

4 Работаем в Matlab

4.1 BPSK

```
%BPSK
%генерируем случайное сообщения
msg=randi([0 1], [1 256]);
%M=2 получим сигнал от двоичного фазового модулятора
sig_mod=pskmod(msg,2);
%получим сигнальное созвездие BPSK
scatterplot(sig_mod);
%оценим помехоустойчивость
%смоделируем ошибки
errors=randerr(1,256,13);
%добавим ошибки к сигналу
sig_mod_errors=sig_mod+errors;
%Полученный сигнал
sig_demod=pskdemod(sig_mod_errors,2);
%вычислим число ошибочных символов
%и вероятности ошибки на символ
[numberBPSK, ratioBPSK]=symerr(msg,sig_demod);
[BITnumberBPSK, BITratioBPSK]=biterr(msg,sig_demod);
%число ошибочных символов
numberBPSK
%вероятность ошибки на символ
ratioBPSK
```

Рис. 1: Код Matlab (BPSK)

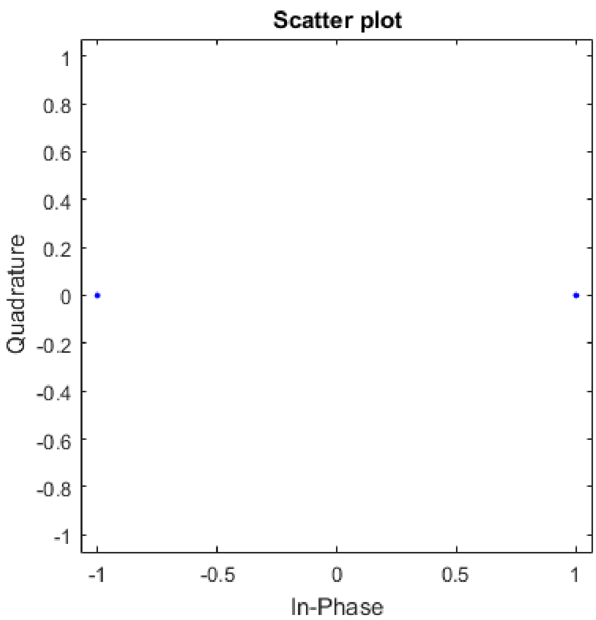

Рис. 2: Сигнальное созвездие BPSK

4.2 PSK

```
%PSK
%генерируем случайное сообщения
msg=randi([0 7], [1 256]);
%M=8 получим сигнал от двоичного фазового модулятора
sig_mod=pskmod(msg,8);
%получим сигнальное созвездие BPSK
scatterplot(sig_mod);
%оценим помехоустойчивость
%смоделируем ошибки
errors=randerr(1,256,13);
%добавим ошибки к сигналу
sig_mod_errors=sig_mod+errors;
%Полученный сигнал
sig_demod=pskdemod(sig_mod_errors,8);
%вычислим число ошибочных символов
%и вероятности ошибки на символ
[numberPSK, ratioPSK]=symerr(msg,sig_demod);
[BITnumberPSK, BITratioPSK]=biterr(msg,sig_demod);
%число ошибочных символов
numberPSK
%вероятность ошибки на символ
ratioPSK
```

Рис. 3: Код Matlab (PSK)

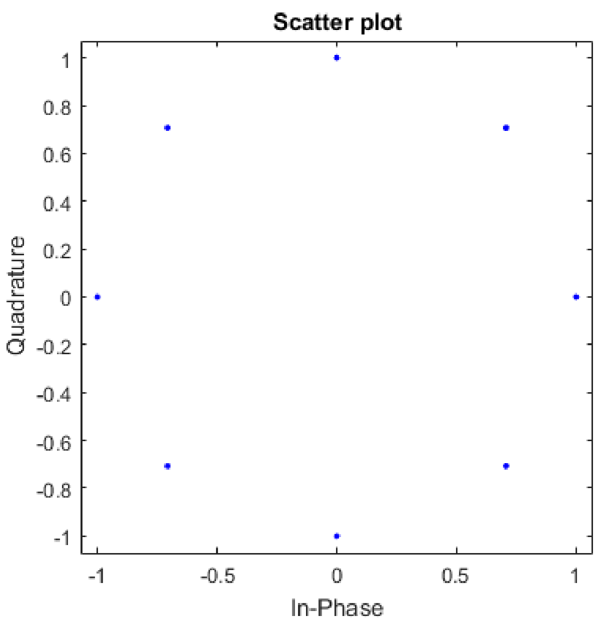

Рис. 4: Сигнальное созвездие PSK

4.3 OQPSK

```
%OQPSK
%генерируем случайное сообщения
msg=randi([0 3], [1 256]);
%M=4 получим сигнал от двоичного фазового модулятора
%второй ini_phase задает начальную
%фазу комплексной огибающей в радианах
sig_mod=oqpskmod(msg,pi/2);
%получим сигнальное созвездие BPSK
scatterplot(sig_mod);
%оценим помехоустойчивость
%смоделируем ошибки
errors=randerr(1,513,13);
%добавим ошибки к сигналу
sig_mod_errors=sig_mod+errors;
%Полученный сигнал
sig_demod=oqpskdemod(sig_mod_errors,pi/2);
%вычислим число ошибочных символов
%и вероятности ошибки на символ
[numberOQPSK, ratioOQPSK]=symerr(msg,sig_demod);
%число ошибочных символов
numberOQPSK
%вероятность ошибки на символ
ratioOQPSK
```

Рис. 5: Код Matlab (OQPSK)

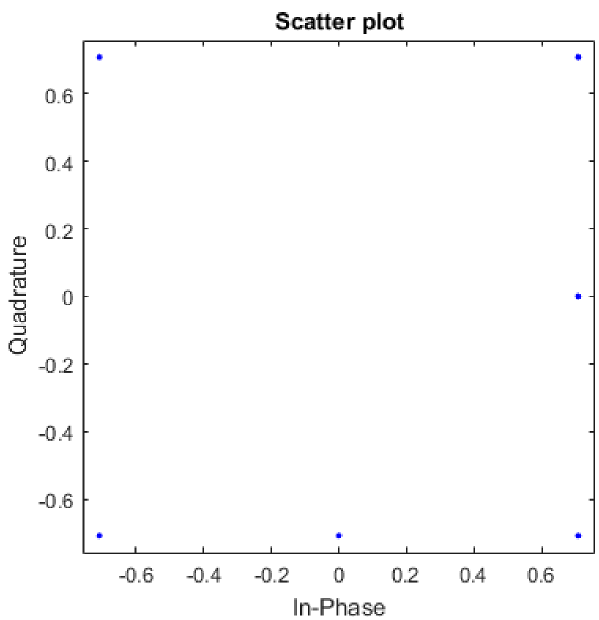

Рис. 6: Сигнальное созвездие OQPSK

4.4 genQAM

```
%genQAM
%генерируем случайное сообщения
M=8;
msg=randi([0 M-1], [1 256]);
%M=8 получим сигнал от двоичного фазового модулятора
sig_mod=genqammod(msg,exp(j*[0:M-1]));
%получим сигнальное созвездие BPSK
scatterplot(sig_mod);
%оценим помехоустойчивость
%смоделируем ошибки
errors=randerr(1,256,13);
%добавим ошибки к сигналу
sig_mod_errors=sig_mod+errors;
%Полученный сигнал
sig_demod=genqamdemod(sig_mod_errors,exp(j*[0:M-1]));
%вычислим число ошибочных символов
%и вероятности ошибки на символ
[numbergenQAM, ratiogenQAM]=symerr(msg,sig_demod);
[BITnumbergenQAM, BITratiogenQAM]=biterr(msg,sig_demod);
%число ошибочных символов
numbergenQAM
%вероятность ошибки на символ
ratiogenQAM
```

Рис. 7: Код Matlab (genQAM)

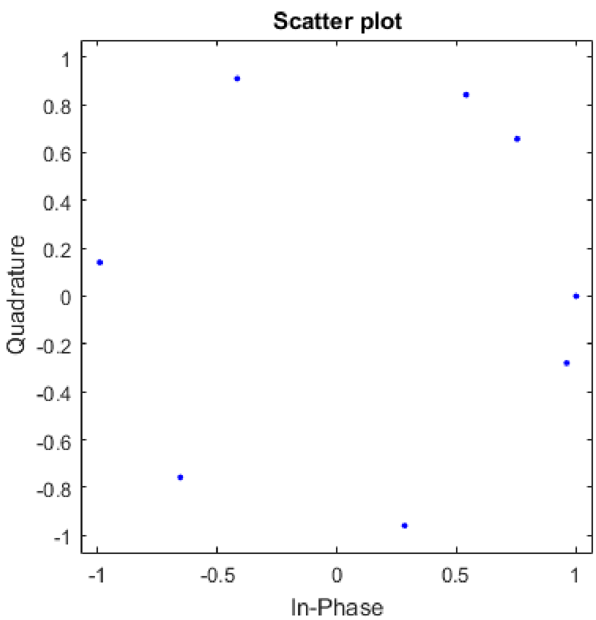

Рис. 8: Сигнальное созвездие genQAM

4.5 MSK

```
%MSK
%генерируем случайное сообщения
%элементы входной информации могут принимать 1 или 0
msg=randi([0 1], [1 256]);
%M=2 получим сигнал от двоичного фазового модулятора
%второй параметр - число отсчетов рез.вектора
sig_mod=mskmod(msg,16);
%получим сигнальное созвездие BPSK
scatterplot(sig_mod);
%оценим помехоустойчивость
%смоделируем ошибки
errors=randerr(1,256*16,13);
%добавим ошибки к сигналу
sig_mod_errors=sig_mod+errors;
%Полученный сигнал
sig_demod=mskdemod(sig_mod_errors,16);
%вычислим число ошибочных символов
%и вероятности ошибки на символ
[numberMSK, ratioMSK]=symerr(msg,sig_demod);
%число ошибочных символов
numberMSK
%вероятность ошибки на символ
ratioMSK
```

Рис. 9: Код Matlab (MSK)

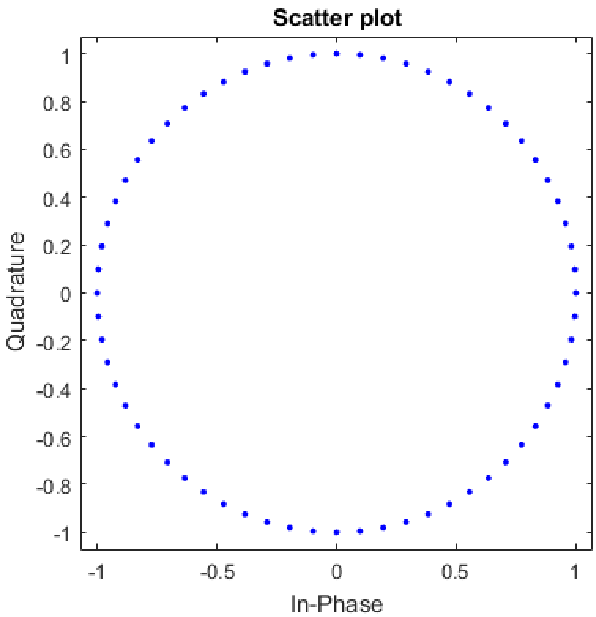

Рис. 10: Сигнальное созвездие MSK

4.6 FSK

```
%FSK
%генерируем случайное сообщения
%элементы входной информации могут принимать 1 или 0
msg=randi([0 1], [1 256]);
%M=2 получим сигнал от двоичного фазового модулятора
%второй параметр - число отсчетов рез.вектора
M=2; % число позиций манипуляции
freqsep=4; % разнос частот манипуляции (в герцах)
nsamp=4; % число отсчетов на символ
Fs=32; % частота дискретизации (в герцах)
sig_mod=fskmod(msg,M,freqsep,nsamp,Fs);
%получим сигнальное созвездие BPSK
scatterplot(sig_mod);
%оценим помехоустойчивость
%смоделируем ошибки
errors=randerr(1,256*nsamp,13);
%добавим ошибки к сигналу
sig_mod_errors=sig_mod+errors;
%Полученный сигнал
sig_demod=fskdemod(sig_mod_errors,M,freqsep,nsamp,Fs);
%вычислим число ошибочных символов
%и вероятности ошибки на символ
[numberFSK, ratioFSK]=symerr(msg,sig_demod);
%число ошибочных символов
numberFSK
%вероятность ошибки на символ
ratioFSK
```

Рис. 11: Код Matlab (FSK)

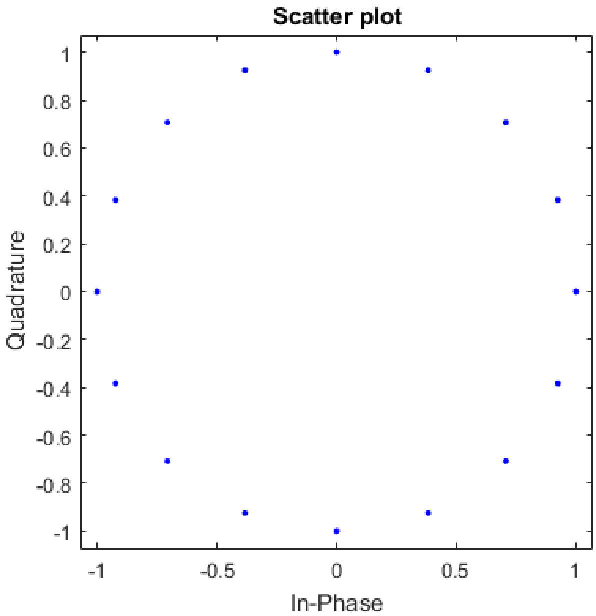

Рис. 12: Сигнальное созвездие FSK

5 Вывод

За счет использования двумерного характера гармонического несущего колебания (под двумерностью здесь понимается наличие двух параметров, которые можно независимо изменять) квадратурная манипуляция обеспечивает большую помехоустойчивость (то есть меньшую вероятность ошибки), чем АМн и ФМн.

Помехоустойчивость тем выше, чем больше расстояние d между ближайшими точками созвездия на комплексной плоскости. При этом для корректности сравнения разных созвездий у них должны быть одинаковыми, помимо числа точек, среднеквадратические амплитуды:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1}|C_k|^2}$$