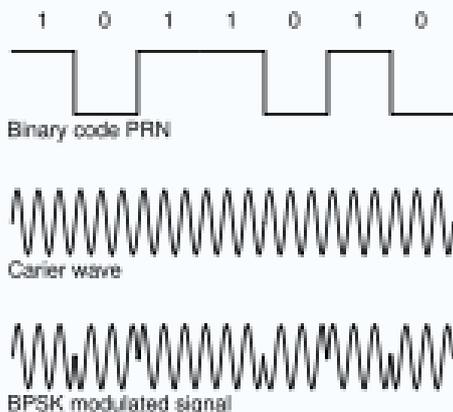


# Фазовая манипуляция

Материал из Википедии — свободной энциклопедии



Модулирующий сигнал, несущая и фазоманипулированный сигнал системы спутниковой навигации [NAVSTAR GPS](#)

**Фа́зовая манипуля́ция** (ФМн, [англ.](#) *phase-shift keying (PSK)*) — один из видов [фазовой модуляции](#), при которой [фаза несущего колебания](#) меняется скачкообразно.

## Содержание

- [1 Описание](#)
- [2 Двоичная фазовая манипуляция](#)
  - [2.1 Когерентное детектирование](#)
  - [2.2 Некогерентное детектирование](#)
  - [2.3 Реализация](#)
- [3 Квадратурная фазовая манипуляция](#)
  - [3.1 Когерентное детектирование](#)
  - [3.2 Некогерентное детектирование](#)
  - [3.3 π/4-QPSK](#)
- [4 ФМн более высоких порядков](#)
- [5 Дифференциальная ФМн](#)
- [6 См. также](#)
- [7 Примечания](#)
- [8 Литература](#)
- [9 Ссылки](#)

## Описание

Фазоманипулированный сигнал имеет следующий вид:

$$s_m(t) = g(t)\cos[2\pi f_c t + \varphi_m(t)],$$

где  $g(t)$  определяет огибающую сигнала;  $\varphi_m(t)$  является модулирующим сигналом.  $\varphi_m(t)$  может принимать  $M$  [дискретных](#) значений.

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),  $M=8$  (8-psk -3 бита на 1 смену фазы) и т. д. Таким образом, количество бит  $n$ , передаваемых одним перескоком фазы, является степенью, в которую возводится двойка при определении числа фаз, требующихся для передачи  $n$ -порядкового двоичного числа.

Фазоманипулированный сигнал  $s_i(t)$  можно рассматривать как линейную комбинацию двух ортонормированных сигналов  $y_1$  и  $y_2$ <sup>[1]</sup>:

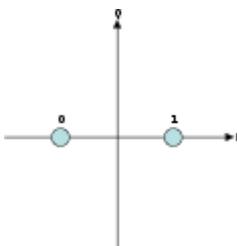
$$S_m(t) = S_1 Y_1 + S_2 Y_2,$$

где

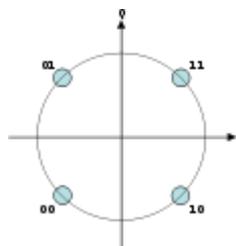
$$Y_1(t) = \sqrt{\frac{2}{E_g}} g(t) \cos[2\pi f_c t + \phi_m(t)]$$

$$Y_2(t) = -\sqrt{\frac{2}{E_g}} g(t) \sin[2\pi f_c t + \phi_m(t)]$$

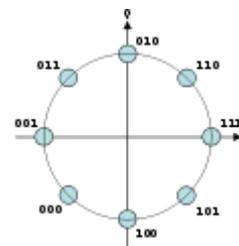
Таким образом, сигнал  $S_m(t)$  можно считать двумерным вектором  $[S_1(m, M) \ S_2(m, M)]$ . Если значения  $S_1(m / M)$  отложить по горизонтальной оси, а значения  $S_2(m, M)$  - по вертикальной, то точки с координатами  $S_1(m, M)$  и  $S_2(m, M)$  будут образовывать пространственные диаграммы, показанные на рисунках.



Двоичная фазовая манипуляция (BPSK)

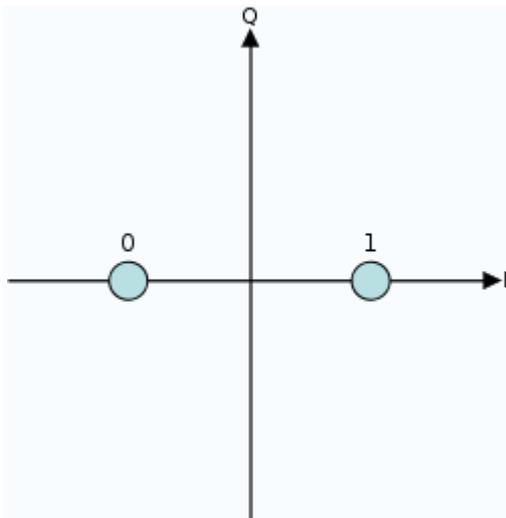


Квадратурная фазовая манипуляция (QPSK)



Восьмиричная фазовая манипуляция (8-PSK)

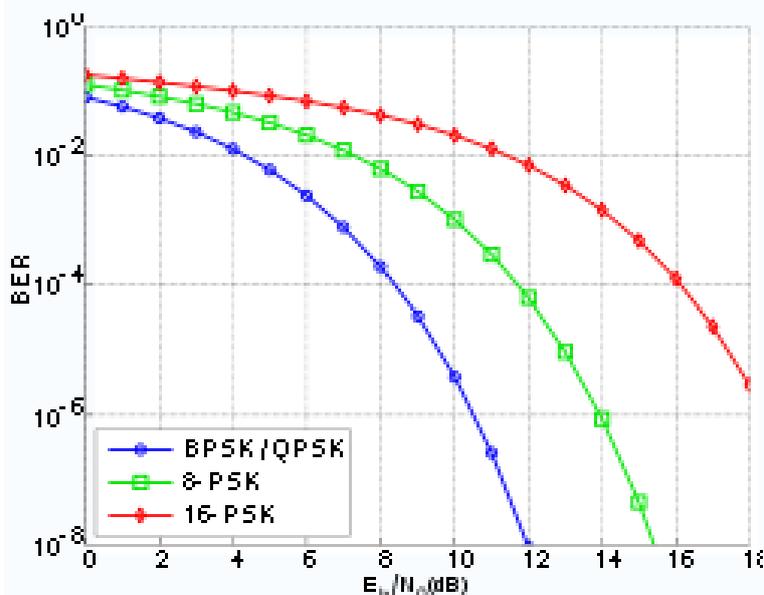
## Двоичная фазовая манипуляция



Фазовое созвездие для двоичной ФМн

Двоичная фазовая манипуляция ([англ. BPSK — binary phase-shift keying](#)) — самая простая форма фазовой манипуляции (ФМн). Работа схемы двоичной ФМн заключается в смещении фазы несущего колебания на одно из двух значений, нуль или  $\pi$  ( $180^\circ$ ).

### Когерентное детектирование



Вероятность ошибки на бит (BER) в зависимости от ОСШ на бит ( $E_b / N_0$ )

Эта модуляция является самой помехоустойчивой из всех видов ФМн, то есть при использовании бинарной ФМн вероятность ошибки при приёме данных наименьшая. Однако каждый символ несет только 1 бит информации, что обуславливает наименьшую в этом методе модуляции [скорость передачи информации](#).

Вероятность ошибки на бит ([англ. BER — Bit Error Rate](#)) при бинарной ФМн в канале с [аддитивным белым гауссовским шумом](#) (АБГШ) может быть вычислена по формуле:

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right),$$

где

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^0 e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

Так как на символ приходится 1 бит, то по этой же формуле вычисляется и вероятность ошибки на символ.

В присутствии произвольного изменения фазы, введенного каналом связи, демодулятор не способен определить, какая точка созвездия соответствует 1 и 0. В результате данные часто дифференциально кодируются до модуляции.

## Некогерентное детектирование

В случае некогерентного детектирования используется дифференциальная двоичная фазовая манипуляция.

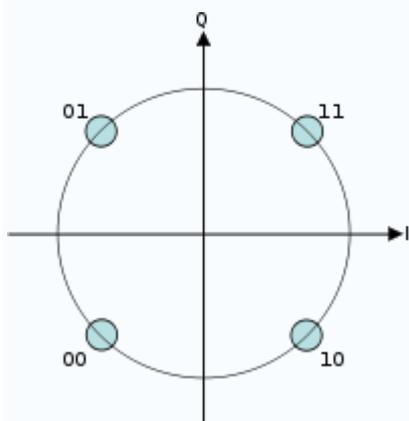
## Реализация

Двоичные данные часто передаются со следующими сигналами:

$$s_0(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad \text{для двоичного «0»}$$
$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \pi) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad \text{для двоичной «1»}$$

где  $f_c$  — частота несущего колебания.

## Квадратурная фазовая манипуляция



Фазовое созвездие для квадратурной ФМн.

Квадратурная фазовая манипуляция ([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, 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, её проще рассматривать в виде двух независимых модулированных несущих, сдвинутых на  $90^\circ$ . 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.

## Когерентное детектирование

При когерентном детектировании вероятность ошибки на бит для QPSK такая же, как и для BPSK:

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$$

Однако, так как в символе два бита, то значение символьной ошибки возрастает:

$$\begin{aligned} P_s &= 1 - (1 - P_b)^2 \\ &= 2Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right) - Q^2\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right) \end{aligned}$$

При высоком отношении сигнал/шум (это необходимо для реальных QPSK систем) вероятность символьной ошибки может быть оценена приблизительно по следующей формуле:

$$P_s \approx 2Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right)$$

## Некогерентное детектирование

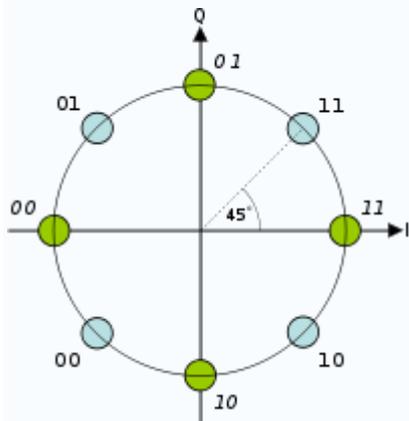
Как и при BPSK, существует проблема неопределённости начальной фазы в приёмнике. Поэтому при некогерентном детектировании QPSK с дифференциальным кодированием на практике используется чаще.

Отличие QPSK от первых видов модуляции ([АМн](#), [ЧМн](#)) в том, что плотность передаваемой информации в расчёте на частотную ширину канала (на символ, на [герц](#)) выше единицы.

Например, в АМн плотность много меньше единицы (0,1-0,001 [бит](#) на [герц](#)) — это связано с необходимостью накопления энергии в фильтрах в первых малочувствительных приёмниках (например русский изобретатель радио [Попов](#) использовал АМн в первом в мире приёмнике). В ЧМн этот показатель приближается к единице (0,1-1) бит на символ ([герц](#)). Например в [GMSK](#), применяемому в [GSM](#) плотность информации равняется 1.

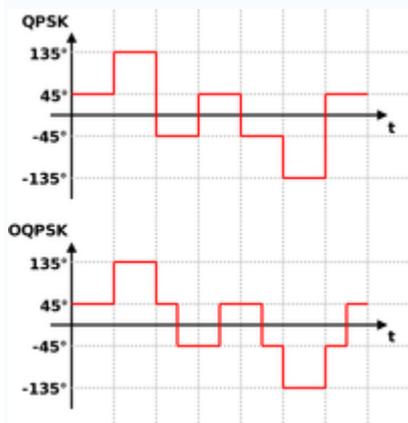
Этот вид модуляции используется например в стандарте сотовой связи [CDMA2000 1X EV-DO](#).

### $\pi/4$ -QPSK



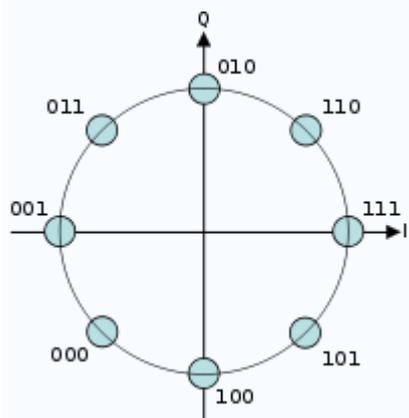
Фазовое созвездие для квадратурной  $\pi/4$  ФМн.

Здесь изображены два отдельных созвездия использующие кодирование Грея, которые повёрнуты на  $45^\circ$  относительно друг друга. Обычно, чётные и нечётные биты используются для определения точек соответствующего созвездия. Это приводит к уменьшению максимального скачка фазы с  $180^\circ$  до  $135^\circ$ . С другой стороны, использование  $\pi/4$ -QPSK приводит к простой демодуляции и вследствие этого она используется в системах сотовой связи с временным разделением каналов.



Сравнение OQPSK и QPSK

### ФМн более высоких порядков



Фазовое созвездие для восьмиричной ФМн.

ФМн с порядком больше 8 используют редко.

## Дифференциальная ФМн

При реализации PSK может возникнуть проблема поворота созвездия, например в непрерывной передаче без синхронизации. Для решения подобной проблемы может быть использовано кодирование, основанное не на положении фазы, а на её изменении. Например для DBPSK фаза изменяется на  $180^\circ$  для передачи '1' и остается неизменной для передачи '0'.

### См. также

- [Амплитудная манипуляция](#)
- [Частотная манипуляция](#)
- [PSKmail](#)
- [Бод](#)

## Примечания

1. ↑ Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ.// Под ред. Д. Д. Кловского. — М.: Радио и связь, 2000, стр. 151

## Литература

- Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ.// Под ред. Д. Д. Кловского. — М.: Радио и связь, 2000. — 800 с. ISBN 5-5459-0497
- Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003—1104 с. ISBN 5-8459-0497
- К. Феер Беспроводная цифровая связь: методы модуляции. Пер. с англ.//Под. Ред. Журавлёва. — М.: Радио и связь, 2000. — 520 с.

## Ссылки

- [Двоичная фазовая модуляция \(BPSK\)](#)
- [Четырёхпозиционная фазовая модуляция \(QPSK\)](#)
- [Очерк А. Б. Сергиенко «Цифровая модуляция»](#)

Источник

«[http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F)»

Категории: [Модуляция](#) | [Радиолюбительство](#)