

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КВАДРАТУРНОЙ ФАЗОВОЙ МАНИПУЛЯЦИИ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ку Хоай Нам

Карушкин Э.М. – К.т.н., Доцент

В статье представлены фазовая манипуляция, состояний фазомодулированного двоичного и квадратурного фазовых манипуляций; спектральная плотность двоичного и квадратурного фазовых манипуляций; достоинства и недостатки квадратурного фазовой манипуляции.

Фазовая манипуляция (ФМн) представляет собой процесс цифровой модуляции, который передает данные путем модулирования фазы постоянной частоты опорного сигнала (несущей волны). Модуляция осуществляется путем изменения входных синус и косинус в точное время. Фазовая манипуляция используется для WLAN (Беспроводная локальная сеть), RFID (радиочастотная идентификация) и Bluetooth. Два распространенных типа фазовых манипуляций: BPSK (двоичная фазовая манипуляция), которая использует две фазы и QPSK (квадратурная фазовая манипуляция), которая использует четыре фазы.

Удобный способ представления состояний фазомодулированного колебания ФМн находится на сигнальных созвездиях. Диаграммы состояний фазомодулированного колебания для двоичной и квадратурной фазовой модуляции показаны на рисунке 1.

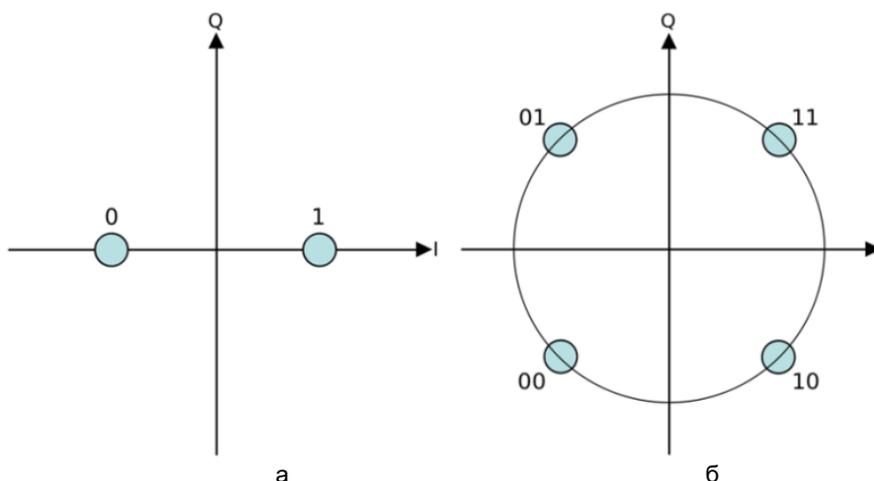


Рисунок 1 – Диаграмма состояний фазомодулированного колебания
а – BPSK, б – QPSK

Диаграмма состояний фазомодулированного колебания представляет собой круг единичного радиуса (так как модуль комплексной огибающей равен единице), на котором, на расстоянии, определяемом форму минимального расстояния между сигналами (1), находятся передаваемые символы.

Минимальное расстояние между сигналами определяется выражением

$$d_{\min}^2 = A^2 T_s \sin^2 \left(\frac{\pi}{M} \right) \quad (1)$$

где A – амплитуда сигнала; T_s – символичный период, $T_s = T_b \cdot \log_2 M$; T_b – длительность бита; M – позиционный модулирующий сигнал, $M = 2$ (BPSK) и $M = 4$ (QPSK).

В BPSK, каждое значение фазы модулированного сигнала содержит одно бит информации. Поскольку абсолютные значения фаз не имеют значения, выберем их из ряда $0, \pi$. Соответствие между значениями фаз модулированного сигнала $0, \pi$ и передаваемыми дибитами информационной последовательности $1, 0$ (рисунке 1). В QPSK, каждое значение фазы модулированного сигнала содержит два бита информации. Соответствие между значениями фаз модулированного сигнала $\pm \pi/4, \pm 3\pi/4$ и передаваемыми дибитами информационной последовательности $11, 10, 01, 00$ (рисунке 1).

Спектральная плотность двоичного и квадратурного фазовых манипуляций сигналов рассчитывается по выражению

$$PSK(f) = A^2 \cdot T_s \cdot \frac{\sin^2(\pi \cdot |f_c - f| \cdot T_s)}{(\pi \cdot |f_c - f| \cdot T_s)^2} \quad (2)$$

где $|f_c - f|$ – разность несущей и текущей частот, при замене частоты f в baseband диапазоне в диапазоне ВЧ.

С целью последующего сравнения спектров при построении соответствующих графиков введем нормировку спектра и используем логарифмический масштаб:

$$PSK(f) = 10 \cdot \log \left[\frac{\sin^2(\pi \cdot |f_c - f| \cdot T_s)}{(\pi \cdot |f_c - f| \cdot T_s)^2} \right], (\text{дБ}) \quad (3)$$

Из формул (2) и (3), графически спектральной плотности мощности BPSK и QPSK показаны на рисунке 2, с параметрами: амплитуда сигнала – $A = 10$, несущая частота – $f_c = 100\text{МГц}$, длительность бита – $T_b = 10^{-4}\text{с}$.

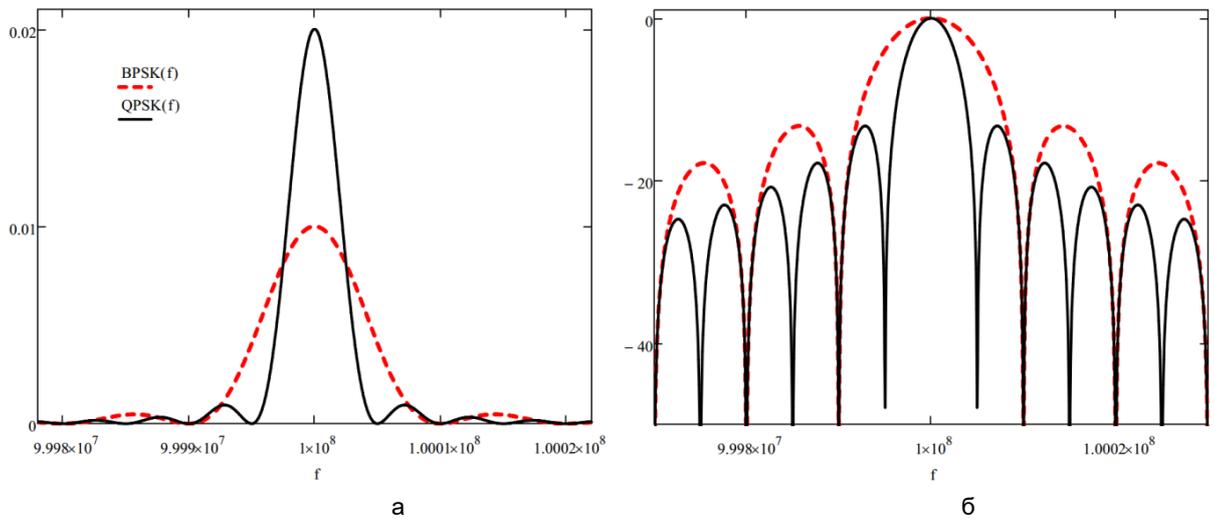


Рисунок 2 – Спектральная плотность BPSK и QPSK сигнала
а – формула (2), б – формула (3)

Из рисунка 2, расстояние между первыми нулями в спектральной плотности мощности QPSK сигнала равно $\Delta f = 1/T_b$, что в два раза меньше, чем для модуляции BPSK. Другими словами, спектральная эффективность квадратурной QPSK модуляции в два раза выше, чем бинарной фазовой модуляции BPSK.

Достоинства квадратурного фазового манипуляции:

- анализ спектральной плотности 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 когерентном детектировании вероятность ошибки на бит для QPSK такая же, как и для BPSK;
- хорошая помехоустойчивость.

Недостатки квадратурного фазовой манипуляции:

- сложная система, чем BPSK. Приемник QPSK более сложным по сравнению с приемником BPSK из-за четырех состояний, необходимых для восстановления информации двоичных данных;
- модуляция использует больше сочетаний фаз чем, что после полосовой фильтра приводит к появлению паразитной амплитудной модуляции;
- большой уровень помех по соседнему каналу.

Список использованных источников:

1. Галкин, В.А.; Козырев, В.Б.; Давыдова, Н.С. Мобильные системы радиосвязи. Часть 1 – М.: МИЭТ, 2003. - 300 с.
2. Листопад, Н. И.; Козел, В. М.; Дубровский, В. В.; Горбачев, К. Л.; Ковалев, К. А. Теоретические основы цифровой радиосвязи – Минск: БГУИР, 2012. – 331с.