

ВЛИЯНИЕ АДДИТИВНОГО БЕЛОГО ГАУССОВСКОГО ШУМА НА СПЕКТРАЛЬНУЮ ПЛОТНОСТЬ QPSK

Ку Х.Н.

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

Карпушкин Э.М. – К.т.н., Доцент

В статье представлены распределение мощности по полосе частот аддитивного белого гауссовского шума, спектральная плотность мощности QPSK и моделирование спектральной плотности мощности QPSK.

Автокорреляционная функция белого шума равна дельта-функции, умноженной на некоторую постоянную величину $N_0/2$:

$$R_n(\tau) = \frac{N_0}{2} \delta(\tau), \quad (1)$$

где $\delta(\tau)$ – дельта-функция равна нулю всюду, за исключением точки $\tau = 0$, при $\delta(0) = \infty$.

Спектральная плотность мощности белого гауссовского шума $G_n(f)$ равномерна для всех частот, определяется на основании теоремы Винера–Хинчина следующим образом

$$G_n(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_n(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau = \frac{N_0}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau = \frac{N_0}{2} e^{-j2\pi f \cdot 0} = \frac{N_0}{2}, \quad (2)$$

как известно интеграл от дельта-функции $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(\tau) d\tau = 1$.

Квадратурная фазовая манипуляция (QPSK) сигнала имеет вид:

$$s_{qpsk}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k=0}^{\infty} C_k^I \cdot g_F(t - k\tau_c) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - C_k^Q \cdot g_F(t - k\tau_c) \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (3)$$

где $C_k^I = \pm 1$ и $C_k^Q = \pm 1$ – синфазная и квадратурная последовательности, соответствующие передаваемым информационным символам «0» и «1» (обычно +1 соответствует «0», а –1 представляет «1»); $g_F(t)$ – формирующий импульс; $\tau_c = 2 \cdot \tau_b$ – длительность информационного символа (бита); k – индекс текущего шага модуляции.

Импульс $g_F(t)$ определяются по формуле

$$g_F(t) = \begin{cases} \sqrt{2E_c/\tau_c}, & 0 \leq t \leq \tau_c, \\ 0, & t \leq 0 \text{ и } t \geq \tau_c. \end{cases} \quad (4)$$

где $E_c = 2 \cdot E_b$ – энергия символа (бита).

Комплексная огибающая сигнала QPSK полностью определяется его квадратурной и синфазной компонентами и представляется следующими выражениями:

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k=0}^{\infty} g_F(t - k\tau_c) (C_k^I + jC_k^Q). \quad (5)$$

Спектральная плотность мощности QPSK $PSD_Q(f)$ определяется с формула

$$PSD_Q(f) = \frac{1}{\tau_c} |S_Q(f)|^2 = \frac{1}{\tau_c} \left| \int_0^{\tau_c} \sqrt{\frac{2E_c}{\tau_c}} e^{-j2\pi ft} dt \right|^2 = \frac{1}{\tau_c} \left| \sqrt{\frac{2E_c}{\tau_c}} \frac{\sin(\pi\tau_c f)}{\pi\tau_c f} \right|^2 = \frac{2E_c \sin^2(\pi\tau_c f)}{(\pi\tau_c f)^2}. \quad (6)$$

Мы моделируем влияние аддитивного белого гауссовского шума на спектральной плотности мощности QPSK. С параметром : длительность информационного символа: $\tau_c = 2 \cdot \tau_6 = 2 \cdot 10^{-5}$ с , энергия символа $E_c = 2 \cdot E_6 = 2 \cdot 10^{-5}$, несущая частота $f_0 = 2 \cdot 10^6$ Гц, частота дискретизации $f_s = 10^7$ Гц и отношение сигнал/шум $E_6/N_0 = 10$ дБ . Графики спектральной плотности QPSK и влияния аддитивного белого гауссовского шума на спектральной плотности QPSK представлена на рисунке 1.

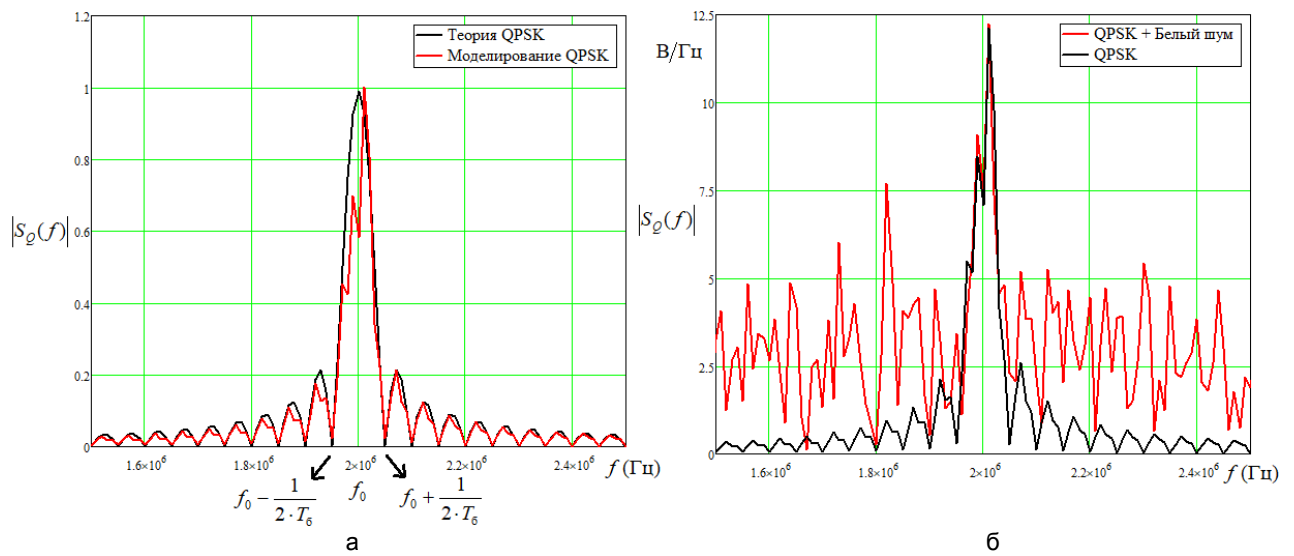


Рисунок 1 – Спектральная плотность QPSK
а – QPSK и б – QPSK + белый шум

График спектральной плотности мощности QPSK моделируются представлена на рисунке 2.

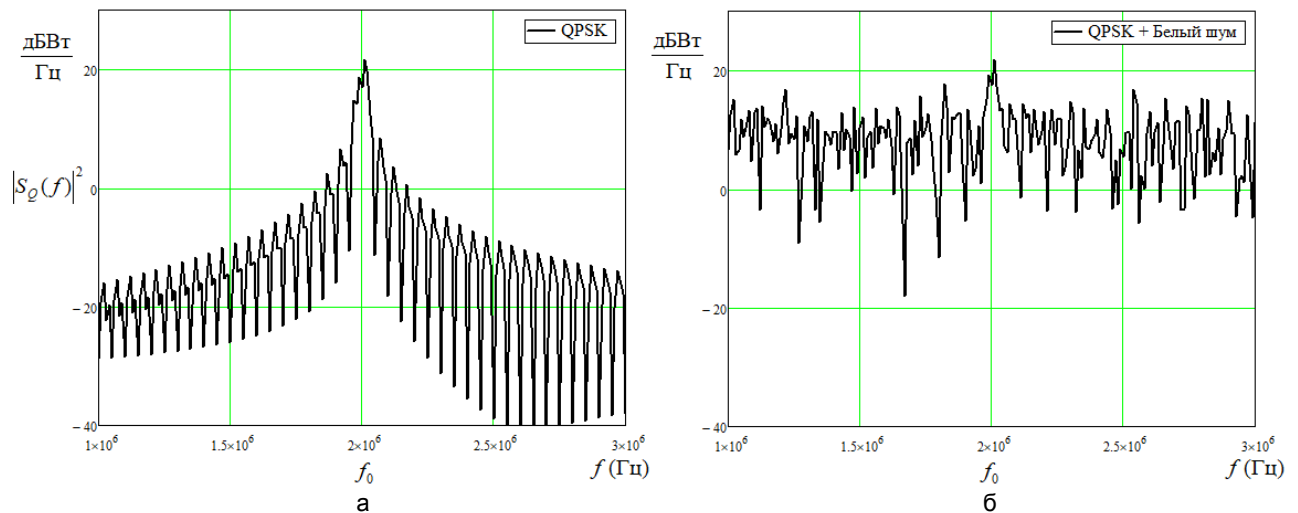


Рисунок 2 – Спектральная плотность мощности QPSK
а – QPSK и б – QPSK + белый шум

Вывод:

- моделирование показывает, что спектральная плотность QPSK мало отличается от теоретической;
- моделирование показывает, что аддитивный белый гауссовский шум влияет на спектральной плотности QPSK. Боковой состоящий спектр спектральной плотности увеличил.

Список использованных источников:

1. Бернард Скляр. Перевод с английского Грозы, Е.Г.; Марченко, В.В.; Назаренко, А.В. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ – М.: 2003. - 1106 с.
2. Галкин, В.А.; Козырев, В.Б; Давыдова, Н.С. Мобильные системы радиосвязи. Часть 1 – М.: МИЭТ, 2003. - 300 с.
3. Листопад, Н. И.; Козел, В. М.; Дубровский, В. В.; Горбачев, К. Л.; Ковалев, К. А. Теоретические основы цифровой радиосвязи – Минск: БГУИР, 2012. – 331с.