

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.376.52

Ку
Хоай Нам

Анализ эффективности квадратурной фазовой манипуляции

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-39 80 02 Радиотехника, в том числе системы и устройства
радионавигации, радиолокации и телевидения

Научный руководитель
КАРПУШКИН Эдуард Михайлович
Доцент кафедры ИРТ БГУИР
Кандидат технических наук, доцент

Минск 2020

ВВЕДЕНИЕ

Модуляция сигнала – это процесс преобразования одного или нескольких параметров несущего колебания в соответствии с изменением передаваемой информации. Сигналы несущие информацию, называются модулированными сигналами. В приемнике, демодулятор будет полагаться на это изменение параметра несущего сигнала для воспроизведения исходного информационного сигнала. Параметры несущего сигнала, используемые в процессе модуляции, могут быть амплитудой, фазой и частотой.

Фазовая манипуляция – это метод модуляции цифрового сигнала и один из видов фазовой модуляции, который передает информационные сообщения путем изменения фазы несущее колебание. Данный вид модуляции нашел очень широкое применение вследствие высокой помехоустойчивости и простоты реализации модулятора и демодулятора. Фазовая манипуляция подразделяется на бинарную фазовую манипуляцию, квадратурную фазовую манипуляцию, многофазовую.

В данной работе уделяется внимание квадратурной фазовой манипуляции (*QPSK*), позволяющей уменьшить эффективную полосу информационного сигнала без снижении скорости передачи информации.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Основным достоинством квадратурной фазовой манипуляции по сравнению бинарной фазовой манипуляцией является возможность уменьшить в два раза полосу информационного сигнала без снижения скорости передачи информации. При низкой вероятности битовой ошибки для квадратурной фазовой манипуляции такой же, как и для бинарной фазовой манипуляции. Однако этот результат сопровождается достаточно большим уровнем внеполосных составляющих. Анализ таких составляющих и методы борьбы с ними являются актуальной задачей.

Степень разработанности проблемы

Традиционно местная связь осуществлялась по проводам, поскольку это представляло собой экономически эффективный способ обеспечения надежной передачи информации. Однако для дальней связи необходима передача информации по радиоканалам.

Различные методы модуляции предполагали различные решения с точки зрения экономической эффективности и качества принимаемых сигналов, но до недавнего времени все еще были в основном аналоговыми. Частотная модуляция и фазовая модуляция представляли определенную невосприимчивость к шуму, тогда как амплитудная модуляция была проще демодулировать. Однако в последнее время с появлением недорогих микроконтроллеров, внедрением внутренних мобильных телефонов и спутниковой связи цифровая модуляция приобрела популярность. Методы цифровой модуляции обеспечивают все преимущества традиционных микропроцессорных схем по сравнению с аналоговыми аналогами. Квадратурная фазовая манипуляция – один из видов фазовой манипуляции. Квадратурная фазовая манипуляция имеет все преимущества цифровой модуляции.

Благодаря простоте фазовой манипуляции, особенно по сравнению с квадратурной амплитудной модуляцией конкурента, она широко используется в существующих технологиях. Фазовая манипуляция используется для *WLAN* (Беспроводная локальная сеть), *RFID* (радиочастотная идентификация) и *Bluetooth*. Квадратурная фазовая манипуляция широко используются в спутниковом вещании и все еще широко используется в потоковом спутниковых каналов *SD* (телевидение стандартной четкости) и *HD* (телевидение высокой четкости) некоторых каналов.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является анализ потенциальных возможностей квадратурной фазовой манипуляции с учетом прикладного характера.

Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи:

1. Сравнительный анализ квадратурной фазовой манипуляции.
2. Оценка уровня внеполосных составляющих квадратурной фазовой манипуляции.
3. Анализ уровня паразитной модуляции в квадратурной фазовой манипуляции
4. Моделирование бинарной фазовой манипуляции и квадратурной фазовой манипуляции в среде *MATLAB*.

Объект исследования

Квадратурная фазовая манипуляция в системах передачи информации.

Предмет исследования

Анализ эффективности квадратурной фазовой манипуляции.

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты известных исследований белорусских и зарубежных специалистов в области цифровой связи и цифровой модуляции.

Все расчеты и полученные результаты подтверждались экспериментальными данными с помощью собранного опытного образца системы.

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна

1. Даны числовые характеристики достоинств и недостатков объекта исследования.
2. Даны рекомендации по практическому использованию исследуемого вида манипуляции.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1. Спектральная плотность бинарной фазовой манипуляции и квадратурной фазовой манипуляции.
2. Спектральная эффективность и энергетическая эффективность различных видов модуляции.
3. Оценка вероятности ошибочного приема бинарной фазовой манипуляции и квадратурной фазовой манипуляции.
4. Моделирование радиотехнического средства передачи информации с бинарной фазовой манипуляцией и с квадратурной фазовой манипуляцией.

Квадратурная фазовая манипуляция модулятора с использованием фильтра Найквиста.

Апробация диссертации и информации об использовании ее результатов

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 55-й и 56-й научных конференциях студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР.

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в 3 опубликованных работах, представленных в материалах международных научно-практических и научно-технических конференций. Общий объем публикаций 6 страниц.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четыре главы с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

В первой главе рассматриваются обзор литературы по фазовой манипуляции и теоретическая фазовая манипуляция.

Во второй главе проведен анализ спектральной плотности фазовой манипуляции.

В третьей главе проведен оценка вероятность ошибочного приема фазовой манипуляции.

В четвертой главе представлены результаты компьютерного моделирования в среде *MATLAB*.

Общий объем диссертационной работы составляет 80 страниц. Из них 55 страниц основного текста, 57 иллюстраций, 2 таблицы, библиографический список из 33 наименований, список собственных публикаций соискателя из 3 наименований, 2 приложений.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** приводится обоснование актуальности работы, объяснение что такое модуляция и основные виды цифровой модуляции.

Первая глава носит обзорный характер. В ней даны понятия о фазовой манипуляции, распространенные типы фазовых манипуляций и описания работы модулятора и демодулятора, соответствующие типу фазовой манипуляции. Отмечаются достоинства фазовой манипуляции. Указываются трудности и преимущества квадратурной фазовой манипуляции по сравнению с бинарной фазовой манипуляцией.

Достоинства фазовой манипуляции: передает данные информации по радиочастотному сигналу более эффективно чем другие типы манипуляции, менее подвержен ошибкам по сравнению с амплитудной манипуляцией при той же ширине полосы частот и такой же помехоустойчивости с мощностью передатчика ниже, чем частотная манипуляция.

Преимущества квадратурной фазовой манипуляции скорость бита может быть увеличена в два раза относительно бинарной фазовой манипуляции при той же ширине полосы частот, так как количество фаз квадратурной фазовой манипуляции вдвое больше.

Вторая глава посвящена анализу спектральной плотности фазовой манипуляции. Дается сравнительный анализ спектральной плотности квадратурной фазовой манипуляции и бинарной фазовой манипуляции. Отмечается преимущества использования фильтра Найквиста для квадратурной фазовой манипуляции.

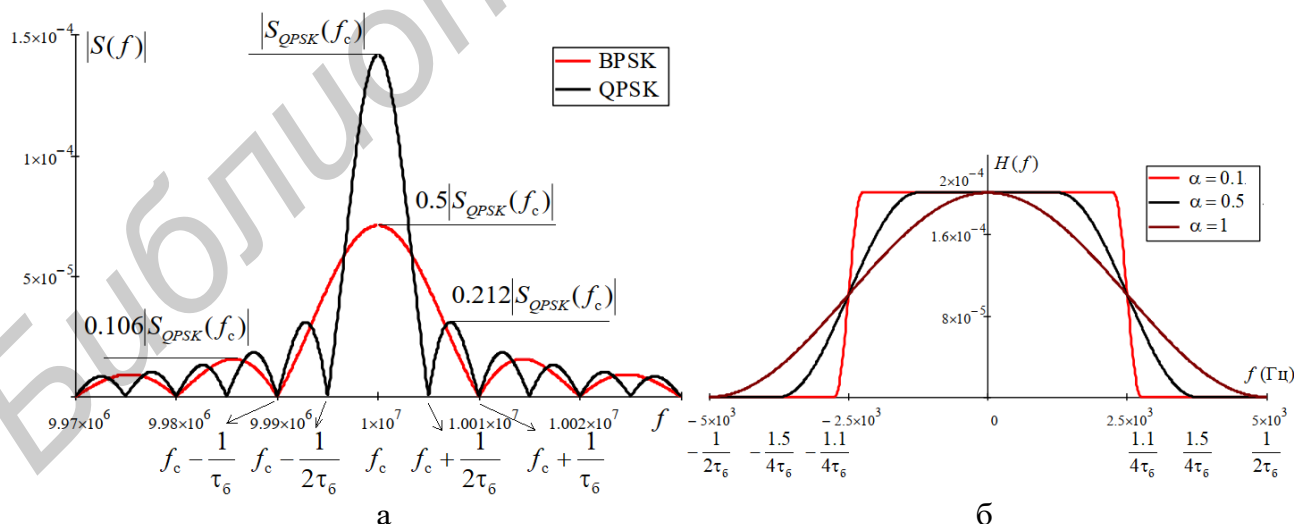


Рисунок 1 – Спектральная плотность фазовой манипуляции и амплитудно-частотная характеристика фильтра Найквиста

Результаты анализа спектральной плотности показали, что расстояние между первыми нулями в спектральной плотности квадратурной фазовой манипуляции сигнала равно $\Delta f = 1/\tau_6$, т.е в два раза

меньше, чем для бинарной фазовой манипуляции. Другими словами, спектральная эффективность квадратурной фазовой манипуляции в два раза выше, чем бинарной фазовой манипуляции. Отмечается высокий уровень внеполосных составляющих у спектра квадратурной фазовой манипуляции.

Квадратурная фазовая манипуляция с помощью фильтров Найквиста уменьшает ширину полосы частот. Ширина полосы частот зависит от значения коэффициента сглаживания α . Но использование фильтра Найквиста приводит к появлению паразитной амплитудной модуляции.

Результаты анализа спектральной плотности квадратурной фазовой манипуляции и бинарной фазовой манипуляции сигналов показаны на рисунке 1а. Амплитудно-частотная характеристика фильтра Найквиста показана на рисунке 1б.

Третья глава посвящена оценки эффективности типов модуляции и вероятность ошибки для бинарной фазовой манипуляции и для квадратурной фазовой манипуляции.

Существует два основных критерии эффективности различных видов модуляции: спектральная эффективность и энергетическая эффективность. Энергетическая эффективность характеризует энергию, которую используется для передачи информации с определенной уверенностью. Спектральная эффективность характеризует ширину полосы частот, необходимую для передачи информации с заданной скоростью. Оценка спектральной эффективности бинарной фазовой манипуляции и квадратурной фазовой манипуляции представлена на рисунке 2.

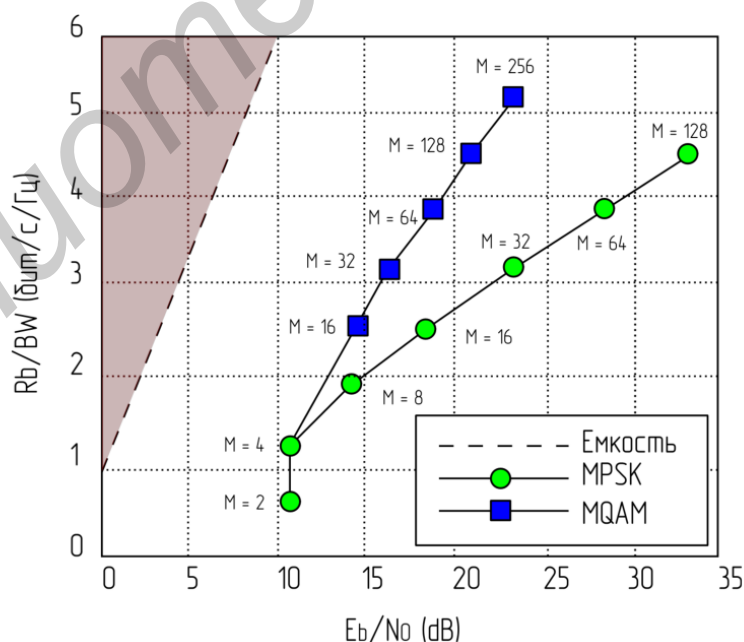


Рисунок 2 – Зависимость спектральной эффективности от вида манипуляции

Как видно из рисунка 2, спектральная эффективность квадратурной фазовой манипуляции увеличена в два раза относительно бинарной фазовой манипуляции при той же значении энергетической эффективности E_b/N_0 .

Результаты анализа в третьей главе дают вероятность ошибки квадратурной фазовой манипуляции и бинарной фазовой манипуляции показана в таблице 1.

Таблица 1 – Вероятности ошибки символа и бита для когерентной демодуляции

Модуляция	Вероятность ошибки бита	Вероятность ошибки символа
Бинарная фазовая манипуляция	$P_{\text{ош}} = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$	
Квадратурная фазовая манипуляция	$P_{\text{ош бита}} \approx Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$	$P_{\text{ош сим.}} = 2Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) + Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)^2$

Зависимость вероятности битовой (символьной) ошибки бинарной фазовой манипуляции и квадратурной фазовой манипуляции от отношения энергии бита к спектральной плотности шума представлена на рисунке 3.

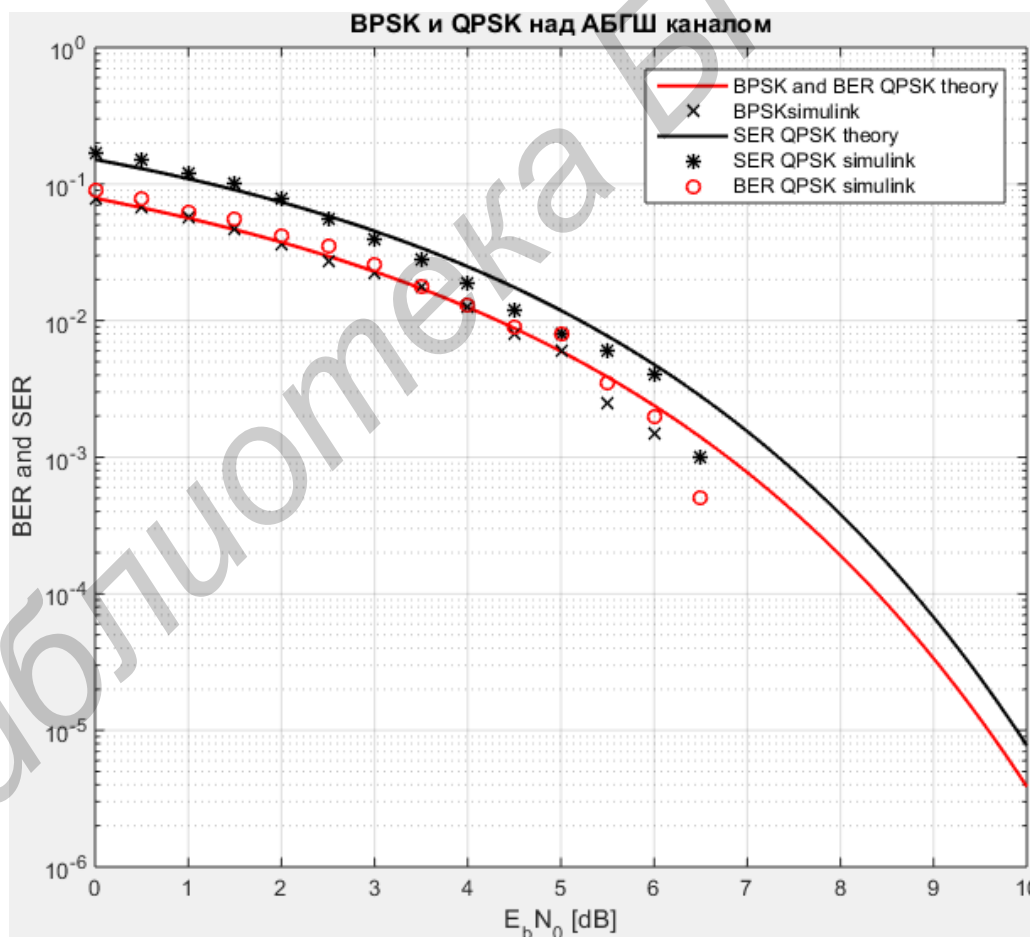


Рисунок 3 – Зависимость вероятности битовой (символьной) ошибки бинарной фазовой манипуляции и ошибки квадратурной фазовой манипуляции от отношения энергии бита к спектральной плотности шума

В пятой главе представлены результаты компьютерного моделирования в среде *MATLAB*. Получены спектральные плотности квадратурной фазовой манипуляции и бинарной фазовой манипуляции, при моделировании в среде *MATLAB*, (рисунке 4).

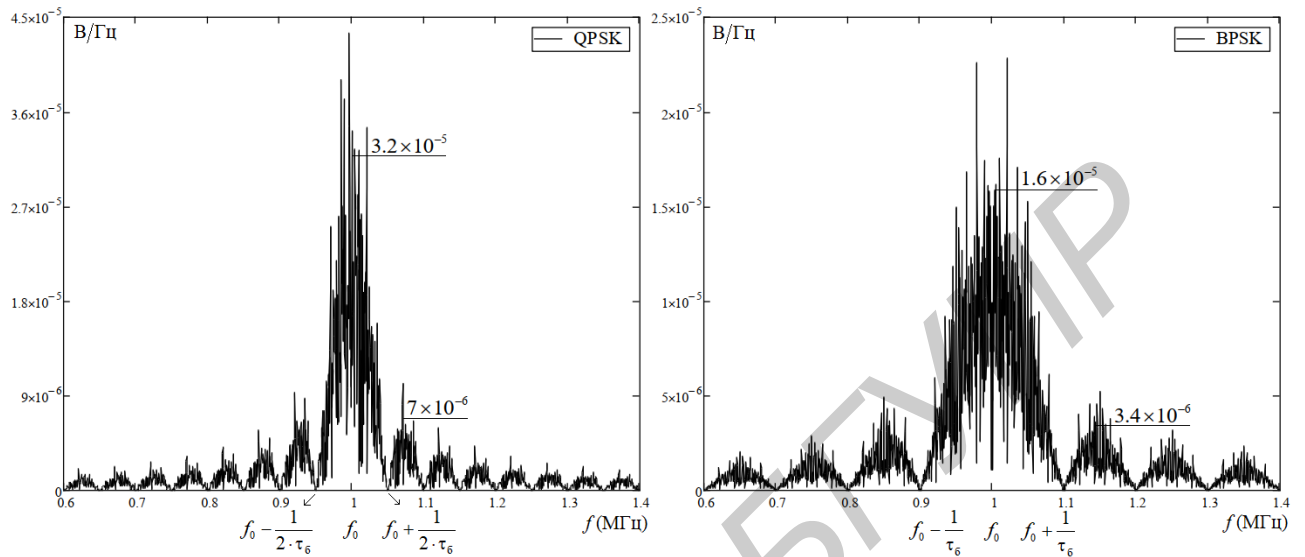


Рисунок 4 – Спектральной плотности квадратурной фазовой манипуляции и бинарной фазовой манипуляции

Спектральная плотность мощности квадратурной фазовой манипуляции с фильтром Найквиста, с параметром $\alpha = 0.1$ представлена на рисунке 5.

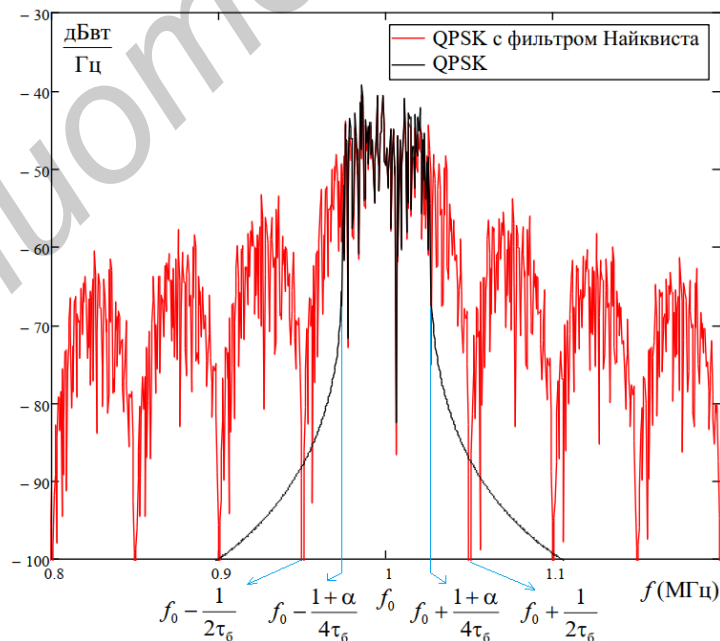


Рисунок 5 – Спектральная плотность мощности квадратурной фазовой манипуляции сигнала с фильтром Найквиста, с параметром $\alpha = 0.1$

Как видно из рисунка 5, при использовании фильтра Найквиста, сужается ширина полосы частот.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты анализа и моделирования показывают достоинства и недостатки квадратурной фазовой манипуляции по сравнению с бинарной фазовой манипуляцией.

Достоинства квадратурной фазовой манипуляции:

– анализ и моделирование показывают, что скорость бита может быть увеличена в два раза относительно бинарной фазовой манипуляции при той же ширине полосы частот. При скорости бита прежней, но меньшей ширины полосы вдвое;

– при когерентном детектировании вероятность ошибки на бит для квадратурной фазовой манипуляции близка к ошибке бинарной фазовой манипуляции;

– хорошая помехоустойчивость.

Недостатки квадратурной фазовой манипуляции:

– сложнее структура модулятора и демодулятора, чем у бинарной фазовой манипуляции. Приемник и передатчик более сложны по сравнению с приемником и передатчиком бинарной фазовой манипуляции;

– модуляция использует больше комбинаций фаз, что после полосового фильтра приводит к появлению паразитной амплитудной модуляции;

– высокий уровень помех по соседнему каналу.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Тезисы конференций

1. Ку Хоай Нам. Анализ эффективности квадратурной фазовой манипуляции / Карпушкин Э.М. – к.т.н., доцент // 55-я юбилейная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Радиотехника и Электроника, 22-26 апреля 2019 г., БГУИР, Минск, Беларусь: тезисы докладов. – Мн. – 2019. 84 с.

2. Ку Хоай Нам. Анализ вероятности ошибки сигналов *QPSK* и *BPSK* / Карпушкин Э.М. – к.т.н., доцент // 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов / Радиотехника и Электроника / апрель, май 2020 года / сборник тезисов докладов / Минск БГУИР 2020. 167 с.

3. Ку Хоай Нам. Влияние аддитивного белого гауссовского шума на спектральную плотность *QPSK* / Карпушкин Э.М. – к.т.н., доцент // 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов / Радиотехника и Электроника / апрель, май 2020 года / сборник тезисов докладов / Минск БГУИР 2020. 169 с.