

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

УДК 621.391.6+621.376.4

Зайцев
Илья Александрович

Методы синхронизации несущего колебания
при приеме сигнала с фазовой манипуляцией

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра
по специальности 1-39 80 01 «Радиосистемы и радиотехнологии»

Научный руководитель
Козел Виктор Михайлович
Кандидат технических наук, доцент

Минск 2023

ВВЕДЕНИЕ

Современные системы связи требуют большого расстояния связи, большой пропускной способности связи, хорошего качества.

Наибольшая энергетическая и спектральная эффективность передачи дискретной информации достигается при использовании методов фазовой манипуляции (*M-PSK*).

Технология *M-PSK* широко используется в цифровых системах связи, таких как системы микроволновой связи, системы спутниковой связи с широкополосным доступом, системы мобильной связи, кабельное телевидение и т. д.

В цифровых системах связи для обеспечения согласованной работы любая группа устройств нуждается в синхронизации определенных параметров. Синхронизация является важным аспектом в различных областях техники, включая системы связи, компьютерные сети, автоматизацию и др. Поскольку ошибки в синхронизации могут привести к сбоям в передаче данных и потере информации.

Для корректной демодуляции фазоманипулированных сигналов требуется обеспечить синхронизацию принятого сигнала по частоте и фазе с локально генерируемым колебанием (синхронизацию несущего колебания). Из этого следует, что синхронизация несущей является важным элементом в цифровых системах связи, использующим фазовую манипуляцию для эффективной передачи информации.

Однако в реальных условиях частота и фаза несущего колебания неизвестна. Это обусловлено особенностями распространения радиоволн, нестабильностью частоты опорных генераторов, изменяющимся местоположением передающего и приемного устройств, эффектом Доплера и т.п.

При приеме фазоманипулированных сигналов, используются различные методы синхронизации несущего колебания, которые позволяют осуществить коррекцию частоты и фазы локально генерируемого сигнала, для обеспечения согласованной работы устройств.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Наибольшая энергетическая и спектральная эффективность передачи дискретной информации достигается при использовании методов фазовой манипуляции (*M-PSK*).

Технология *M-PSK* широко используется во многих сферах связи, таких как цифровые системы микроволновой связи, системы цифровой спутниковой связи с широкополосным доступом, системы мобильной связи, кабельное телевидение и т. д.

Корректный прием сигналов с фазовой манипуляцией невозможен без точного восстановления несущего колебания на приемной стороне, так как, в соответствии с данным методом, в модулированном сигнале отсутствует компонент несущей.

Цель и задачи исследования

Целью магистерской диссертации является разработка и последующее моделирование метода синхронизации по несущему колебанию для сигналов с фазовой манипуляцией.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- обзор известных методов синхронизации несущего колебания;
- разработка и реализация метода синхронизации;
- исследование качественных характеристик реализованного метода синхронизации.

Объектом исследования является прием сигналов с фазовой манипуляцией.

Предметом исследования являются методы синхронизации по несущим колебаниям при приеме сигналов с фазовой манипуляцией.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в установлении закономерностей влияния параметров метода синхронизации на качество работы системы связи и быстроту восстановления несущего колебания.

Теоретическая значимость диссертации заключается в определении основных параметров, влияющих на процесс и качество синхронизации несущего колебания.

Практическая значимость состоит в исследовании основных качественных характеристик метода синхронизации несущего колебания с обратной связью по решению, что позволяет дать некоторые практические

рекомендации для правильного выбора параметров систем синхронизации, работающих в различных условиях.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

- обзор методов синхронизации несущего колебания;
- сравнение метода, в котором для синхронизации несущей используется только контур фазовой автоподстройки частоты с модифицированным методом, использующим также контур грубой подстройки частоты;
- влияние размера БПФ в контуре грубой подстройки частоты на время и качество восстановления несущей;
- влияние количества усредненных значений спектра в контуре грубой подстройки частоты на время и качество восстановления несущей;
- рекомендации по выбору параметров системы синхронизации для различных условий.

Апробация диссертации и информации об использовании ее результатов

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 58-й научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР (20 – 21 апреля 2022 г.), Республиканской научно-технической конференции «Информационные радиосистемы и радиотехнологии» (29 – 30 ноября 2022 г.), 59-й научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР (18 – 19 апреля 2023 г.).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе обосновывается актуальность выбранной темы, показывается влияние фазового и частотного смещения на процесс принятия решения относительно корректности принятых бит информации. Изучены различные методы синхронизации несущего колебания при приеме сигналов с фазовой манипуляцией. Рассмотрены существующие методы как с прямой, так и обратной связью по решению. Для каждого метода описаны преимущества и недостатки.

Во второй главе подробнее описывается алгоритм восстановления несущей методом, основанным на контуре фазовой автоподстройки частоты. Дается обоснование принципа работы контура. Приводится описание основных блоков контура ФАПЧ и выбирается способ их реализации.

В третьей главе на основании результатов, полученных в предыдущей главе, проводится моделирование работы контура ФАПЧ при различных фазо-частотных смещениях. Моделирование проводилось в среде *Simulink*. Получены осциллограммы работы основных составляющих контура, по результатам работы которых можно наблюдать, что при больших фазо-частотных сдвигах контур ФАПЧ плохо справляется со своей задачей. В некоторых случаях остается остаточное смещение. Для устранения этого недостатка и улучшения работы системы синхронизации было принято решение об необходимости модификации метода, перед контуром ФАПЧ необходимо ввести контур грубой подстройки частоты.

В четвертой главе дается описание алгоритма коррекции частоты смещения. Описываются основные блоки контура грубой подстройки частоты. С помощью среды *Simulink* производится моделирование контура. Приводятся результаты работы.

Далее для проверки работоспособности модифицированного метода синхронизации несущей и его сравнения с методом, который использует только контур ФАПЧ, производится моделирование системы связи в *Simulink* с возможностью переключения между различными методами синхронизации. Осуществляется настройка блоков в соответствии с параметрами. Представляются спектрограммы, осциллограммы, созвездия сигнала после прохождения основных этапов преобразования информации в системе связи.

В пятой главе, на основании системы связи из предыдущей главы, был построен график зависимости вероятности битовых ошибок от отношения сигнал/шум в канале связи как для системы связи, использующей только контур ФАПЧ, так и для системы, которая использует контур грубой

подстройки частоты помимо контура фазовой автоподстройки для синхронизации несущей частоты.

Помимо этого, для модифицированного метода синхронизации несущей были построены графики зависимость времени, ушедшего на нахождения частоты смещения, от размера БПФ при варьировании значений количества усредненных значений спектра и графики зависимость среднего отклонения частоты от смещения по частоте от количества усредненных значений спектра при различных значениях размера БПФ. Так же построены графики зависимость вероятности битовых ошибок от отношения сигнал/шум в канале связи, где была учтена различная длина БПФ, и графики зависимость вероятности битовых ошибок от отношения сигнал/шум в канале связи при различном количестве усредненных значений спектра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе обзора литературы и обзора существующих методов синхронизации несущего колебания было установлено, что одним из основных требований к современным системам радиосвязи является синхронизация сигналов, так как в работе большого числа современных систем связи различного назначения используется когерентный прием данных. Показана роль синхронизации несущего колебания в системах связи. Изучены различные методы синхронизации несущего колебания. Рассмотрены существующие методы как с прямой, так и обратной связью по решению. Для каждого метода описаны преимущества и недостатки.

По результатам обзора было принято решение подробнее остановиться на методе синхронизации с обратной связью по решению (схема ФАПЧ).

Далее в главах более подробно был рассмотрен контур фазовой автоподстройки частоты, представлены варианты исполнения основных составляющих контура. Было произведено моделирование контура фазовой автоподстройки частоты. Затем выполнена проверка корректности работы модели при помощи блоков из библиотеки в *Simulink*. Сняты осциллограммы работы контура, сделаны выводы о корректности работы.

По результатам проведенной проверки было выявлено, что при больших фазо-частотных сдвигах в контуре ФАПЧ остается остаточное смещение. В некоторых случаях это приводит к принятию неверного решения относительно корректности принятых бит информации. Для устранения этого недостатка и улучшения работы системы синхронизации была произведена модификация метода, перед контуром ФАПЧ вводится контур грубой подстройки частоты.

В рамках исследования было произведено моделирование работы системы связи, в которой была осуществлена возможность переключения метода синхронизации несущей, основанного только на контуре ФАПЧ, на модифицированный метод, для сравнения их влияния на корректность приема бит. Моделирование производилось в *Simulink*.

Был построен график зависимости вероятности битовых ошибок от отношения сигнал/шум в канале связи как для системы связи, использующей только контур ФАПЧ, так и для системы, которая использует контур грубой подстройки частоты помимо контура фазовой автоподстройки для синхронизации несущей частоты.

В результате сравнения двух графиков можно заметить, что модифицированный метод позволяет осуществить более точную оценку

передаваемых бит информации. Тем самым позволяет работать в более сложной помеховой обстановке.

Отдельно для модифицированного метода синхронизации несущей были построены графики зависимости времени, ушедшего на нахождения частоты смещения, от размера БПФ при варьировании значений количества усредненных значений спектра и графики зависимости среднего отклонения частоты от смещения по частоте от количества усредненных значений спектра при различных значениях размера БПФ. Так же построены графики зависимости вероятности битовых ошибок от отношения сигнал/шум в канале связи, где была учтена различная длина БПФ, и графики зависимости вероятности битовых ошибок от отношения сигнал/шум в канале связи при различном количестве усредненных значений спектра.

По результатам, представленным в этой главе, можно сделать вывод, что если частотную синхронизацию необходимо осуществить в устройствах фиксированной связи, то в данной ситуации целесообразнее использовать длинные последовательности БПФ и большое количество усредненных значений спектра (ограничения налагаются требованиями и стоимостью системы связи). Так как отсутствуют искажения сигналов вследствие эффекта Доплера и различных помех, связанных с движением.

При использовании исследуемого модифицированного метода синхронизации в подвижных системах связи, необходимо находить баланс между качеством связи и временем установления синхронизации. В таких случаях при увеличении скорости передвижения приемника относительно передатчика в системах связи, исходя из полученных графиков, рекомендуется в первую очередь уменьшать размер БПФ, так как это в 2^n раз уменьшает количество информации, которую нужно обработать. Это, в свою очередь, существенно уменьшает время, которое будет затрачено на процесс нахождения частоты смещения. Во вторую очередь снижать количество усредненных значений спектра для поддержания приемлемого качества принятой информации. Так как снижение этого параметра уменьшает количество обрабатываемой информации на n раз.

Настройка контура ГПЧ должна производиться с учетом тех требований по восстановлению несущей, которые предъявляются к системе связи, работающей в той или иной помеховой обстановке.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1-А. Зайцев, И.А. Необходимость синхронизации несущего колебания в системах связи при приеме сигналов с фазовой манипуляцией / И.А. Зайцев // 58-я науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск: БГУИР. – 2022. – С. 82–84.

2-А. Зайцев, И.А. Методы синхронизации несущего колебания при приеме сигналов с фазовой манипуляцией / И.А. Зайцев // Республиканской научно-технической конференции «Информационные радиосистемы и радиотехнологии». – Минск: БГУИР. – 2022. – С. 285–287.

3-А. Зайцев, И.А. Влияние параметров контура грубой подстройки частоты на процесс коррекции частотного смещений при приеме фазоманипулированных сигналов / И.А. Зайцев // 59-я науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск: БГУИР. – 2023. – С. 91–93.