

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

УДК 621.396.9

Фам
Куанг Биен

Синтез и анализ псевдослучайных сигналов с частотной манипуляцией

АВТОРЕФЕРАТ

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

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

Минск 2023

ВВЕДЕНИЕ

Современные сети связи и телекоммуникации используют множество различных типов сигналов для передачи информации. Одним из наиболее распространенных типов сигналов являются шумоподобные сигналы с частотной манипуляцией. Эти сигналы имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами сигналов, такими как широкополосность, высокая помехозащищенность и возможность защиты передаваемых данных.

Шумоподобные сигналы с частотной манипуляцией могут быть использованы в различных приложениях, включая телекоммуникации, радиовещание, радиолокацию и многие другие. Они могут использоваться для передачи данных с высокой скоростью, а также для защиты от помех и обеспечения конфиденциальности передаваемой информации.

Одним из способов генерации и модификации шумоподобных сигналов является частотная манипуляция, которая позволяет эффективно использовать доступную полосу частот и снизить влияние помех на передачу сигнала. Частотная манипуляция может быть осуществлена различными способами, включая частотный сдвиг, частотную манипуляцию фазы и другие методы.

Синтез и анализ шумоподобных сигналов с частотной манипуляцией являются важными задачами в области радиосвязи и связанных с ней приложений. В данной работе рассмотрены основные аспекты синтеза и анализа шумоподобных сигналов с частотной манипуляцией. Рассмотрены различные типы систем, использующих шумоподобные сигналы, а также их классификация и применение. Показаны преимущества использования ортогональных сигналов при разработке радиосистем.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

На современном этапе получили активное развитие широкополосные системы передачи цифровой информации, которые существенно улучшают такие качественные показатели систем связи как помехоустойчивость, помехозащищенность, скрытность действия, эффективную борьбу с замираниями и многолучевостью, возможность работы в одной и той-же полосе частот множеству радиосистем различного назначения и другие. Это достигается при использовании ансамбля ортогональных шумоподобных сигналов. Отсюда вытекает актуальность разработки алгоритмов и способов формирования таких сигналов с заданными характеристиками. Синтез и анализ характеристик таких

сигналов и позволяет оценить потенциальные возможности радиосистемы, использующей такие сигналы.

Цель работы

Применительно к радиосистемам передачи цифровой информации предложить алгоритм формирования ансамбля ортогональных шумоподобных сигналов с частотой манипуляции (ЧМн) и провести анализ их корреляционно-спектральных характеристик.

Задачи исследования

1. Предложить основные направления обеспечивающие шумоподобность сигналов.
2. Предложить основные направления обеспечивающие взаимную ортогональность сигналов в ансамбле.

Объект исследования

Объект исследования – шумоподобные сигналы с ЧМн в широкополосных радиосистемах передачи информации.

Предмет исследования

Ансамбли информационных сигналов с заданными корреляционно-спектральными характеристиками.

Текст обоснования

В современных радиосистемах передачи информации используются шумоподобные сигналы. Предпочтение отдают шумоподобным сигналам, обеспечивающим минимальный уровень корреляционных шумов. Основные достоинства таких систем: высокие помехоустойчивость и помехозащищенность, эффективное использование выделения полосы частот, скрытность действия (энергетическая и структурная), возможность борьбы с замираниями и многолучевостью и др. Отсюда вытекает актуальность формирования ансамбля шумоподобных сигналов с заданными корреляционно-спектральными характеристиками. В данной работе рассматриваются алгоритмы и спектрально-корреляционные характеристики шумоподобных сигналов с ЧМн.

Область исследования

Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-39 80 01 «Радиосистемы и радиотехнологии».

Научная новизна

- даны алгоритмы формирования ансамбля шумоподобных сигналов с частотой манипуляцией;
- даны числовые характеристики достоинства и недостатки объекта исследования.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

- обзор литературы по широкополосным системам;
- формирования шумоподобных сигналов с частотной манипуляцией;
- анализ корреляционных характеристик широкополосных сигналов с ЧМн;
- анализ спектрального свойства широкополосных сигналов с ЧМн.

Апробация диссертации и информации об использовании ее результатов

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 58-й и 59-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 9 страниц.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четыре раздела, заключения, библиографического списка и приложений.

В первом разделе рассматриваются обзор литературы по широкополосным системам.

Во втором разделе проведено формирование шумоподобных сигналов с ЧМн.

В третьем разделе проведен анализ корреляционных характеристик широкополосных сигналов с ЧМн.

В четвертом разделе проведен анализ спектральных характеристик широкополосных сигналов с ЧМн.

Общий объем диссертационной работы составляет 73 страниц. Из них 42 страниц основного текста, 37 иллюстраций, 5 таблицы, библиографический список из 53 наименований, список собственных публикаций соискателя из 3 наименований, 2 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрены краткие характеристики и применения шумоподобных сигналов с ЧМн. Современные сети связи и телекоммуникации используют шумоподобные сигналы с частотной манипуляцией для передачи информации. Эти сигналы обладают широкополосностью, высокой помехозащищенностью и могут быть использованы для защиты данных. Они успешно используются в радиотехнических системах радиолокации и передачи информации. Частотная манипуляция является способом генерации и модификации шумоподобных сигналов, позволяющим эффективно использовать доступную полосу частот и снизить влияние помех на передачу сигнала. Синтез и анализ шумоподобных сигналов с частотной манипуляцией являются важными задачами в области радиосвязи и связанных с ней приложений.

В первом разделе рассматривается обзор литературы по широкополосным системам, который включает широкополосные системы связи (ШСС), помехоустойчивость ШСС, скрытность системы связи, эффективность использования отведенной полосы частот, борьба с многолучевостью и электромагнитная совместимость.

Широкополосными являются системы связи, в которых передача сообщений осуществляется сигналами с большой базой:

$$B = T \Delta f_{эфф} \quad (1)$$

где T – длительность сигнала; $\Delta f_{эфф}$ – эффективная ширина спектра.

На рисунке 1 приведена структурная схема широкополосных радиосистем (ШПРС):

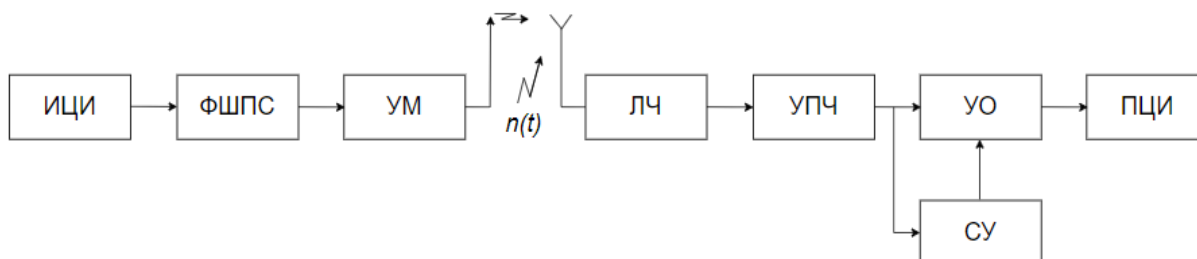


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема ШПРС

Помехоустойчивость ШПСС, одним из основных назначений систем, связи с ШПС является обеспечение надежного приема информации при воздействии мощных помех, когда отношение сигнал-помеха на входе приемника q_{ex} может быть много меньше единицы. Необходимо еще раз отметить, что приведенные соотношения строго справедливы для помехи в виде гауссовского случайного процесса с равномерной спектральной плотностью мощности («белый» шум).

Скрытность системы связи – это способность противостоять обнаружению и измерению параметров. Скрытность – понятие очень емкое, так как включает в себя большое множество особенностей обнаружения ШПС и измерения их параметров. Поскольку обнаружение ШПС и измерение параметров возможны при различной первоначальной осведомленности (априорной неопределенности) о системе связи, то можно указать только основные соотношения, характеризующие скрытность.

Относительно взаимных помех следует отметить, что при синхронной работе (когда ШПС формируются от единого опорного генератора, и все они попарно ортогональны) возникновения взаимных помех удастся избежать. Это, например, имеет место в прямых каналах (от базовой станции к мобильным абонентам) или в сотовых системах связи стандарта CDMA. Однако в обратных каналах этих систем избежать возникновения системных помех практически не удастся.

Однако наличие пауз при телефонных разговорах, а также свойственные системам подвижной связи такие особенности работы, как вызванные многолучевым распространением замирания сигнала доплеровские сдвиги частоты и переменные задержки представляют определенный интерес к использованию ШПС в таких системах. В системах ШПС не только не дают проигрыша, но и обеспечивают значительный выигрыш как по пропускной способности, так и по помехоустойчивости и надежности связи.

Применение ШПС в системах связи позволяет бороться с многолучевостью распространения радиоволн. Многолучевость возникает в том случае, если радиоволны приходят в точку приема, отразившись от различных препятствий на пути распространения (слои ионосферы, здания, холмы и т. п.). Из-за различия в длине пути эти радиоволны приходят с различным запаздыванием. В результате, если сигналы, пришедшие по разным путям, перекрываются во времени, то между ними возникает интерференция, которая в свою очередь вызывает глубокие замирания результирующего сигнала. Обычно для компенсации замираний предусматривают увеличение мощности сигнала на 20 дБ. Иначе обстоит дело при использовании ШПС, поскольку при обработке ШПС согласованным фильтром происходит сжатие ШПС по времени, что иллюстрируется рисунке 2

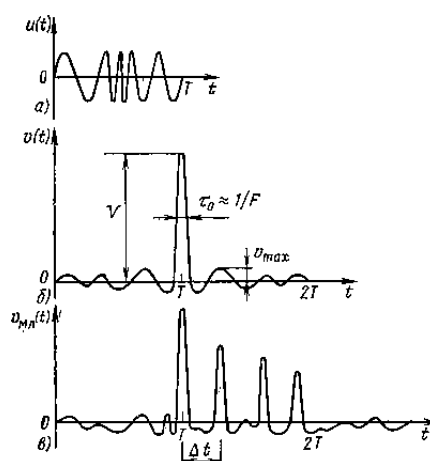


Рисунок 2 – Шумоподобный сигнал а), автокорреляционная функция б) и разделение лучей в)

Системы связи с ШПС обладают хорошей электромагнитной совместимостью (ЭМС) с системами радиосвязи, вещания и телевидения. Ранее было упомянуто, что ШПС обеспечивают высокую эффективность использования радиоспектр. Если рассматривать действие систем связи в некотором замкнутом пространстве, то оказывается, что наилучшую ЭМС при ограниченном диапазоне частот обеспечивают ШПС, хотя сами по себе они требуют более широкой полосы, чем традиционные узкополосные системы. В то же время общая полоса частот при использовании ШПС будет меньше.

Во втором разделе рассматривается исследование формирования шумоподобных сигналов с ЧМн, которое включает методы расширения спектра, структурная схема формирователя ШПС с ДЧМ и компьютерное моделирование формирования ШПС с ЧМн.

Для расширения диапазона сигналов можно увеличивать ширину полосы или длительность сигнала. При расширении спектра сигнал расширяется в частотной области, а при переключении временных интервалов сигнал расширяется во временной области. Для создания преднамеренных помех в таких условиях необходимо знать область, используемую сигналом в каждый момент времени, которая является неопределенной. Для расширения спектра применяются метод прямой последовательности (DSSS) и метод частотных скачков (FHSS). При использовании DSSS узкополосный сигнал умножается на псевдослучайную последовательность (ПСП), а при использовании FHSS частота несущей перескакивает на другую в соответствии с законом формирования ПСП. Оба метода обеспечивают помехозащищенность передачи данных.

На рисунке 3 приведена структурная схема формирователя ПС-сигнала с ДЧМ. В состав схемы входят синтезатор сетки $(N+1)$ когерентных частот (СЧ), цифровой коммутатор (ЦК) и источник цифровой информации (ЦИ). Датчик случайных чисел (ДСЧ) с частотой f_T формирует параллельный двоичный код.

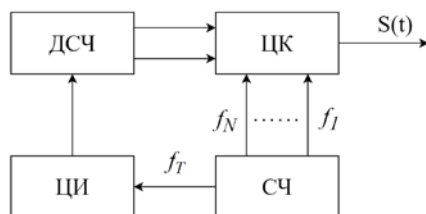


Рисунок 3 – Структурная схема формирователя ШПС с ЧМн

В ДСЧ работают генераторы M-последовательностей. Они позволяют получить псевдослучайную последовательность чисел, причем код числа снимается с разрядов регистра сдвига.

На рисунке 4 показаны пример результатов моделирования двух сигналов вместе с порядком их дискретной составляющей частоты

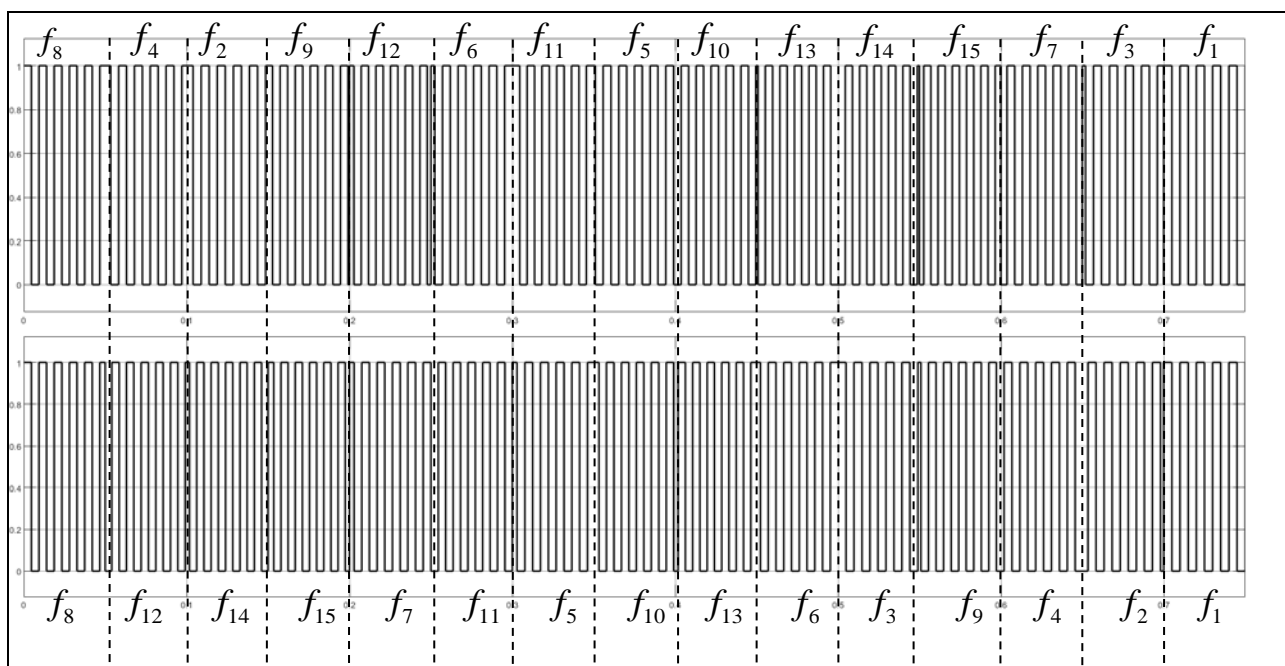


Рисунок 4 – Формирование сигналов

В третьем разделе проведен анализ корреляционной характеристики ШПС с ЧМн, которое включает корреляционная функция сигнала, основное корреляционное свойство ДЧМ-сигналов и результаты компьютерного моделирования для АКФ и ВКФ сигналов.

Считая далее реальный сигнал $S(t)$ длительности T в РТС стационарным и эргодическим случайным процессом, введем понятие АКФ реального сигнала как

$$R(\tau) = \int_0^T S(t)S(t - \tau)dt$$

Иногда удобно пользоваться понятием нормированной АКФ сигнала $\rho(\tau)$:

$$\rho(\tau) = \frac{R(\tau)}{R(0)} = \frac{1}{E} R(\tau)$$

Для установления статистической связи между двумя сигналами $S_1(t)$ длительности T_1 и $S_2(t)$ длительности T_2 рассмотрим функцию взаимной корреляции (ВКФ):

$$R_{1,2}(\tau) = \int_0^T S_1(t)S_2(t - \tau)dt$$

где T – время анализа.

Нормированную ВКФ двух сигналов с энергиями E_1 и E_2

$$\rho_{1,2} = \frac{1}{\sqrt{E_1 E_2}} \int_0^T S_1(t)S_2(t)dt$$

Приведенные на следующей рисунке пример формы одиночной АКФ и ВКФ вычислена при $N=15$

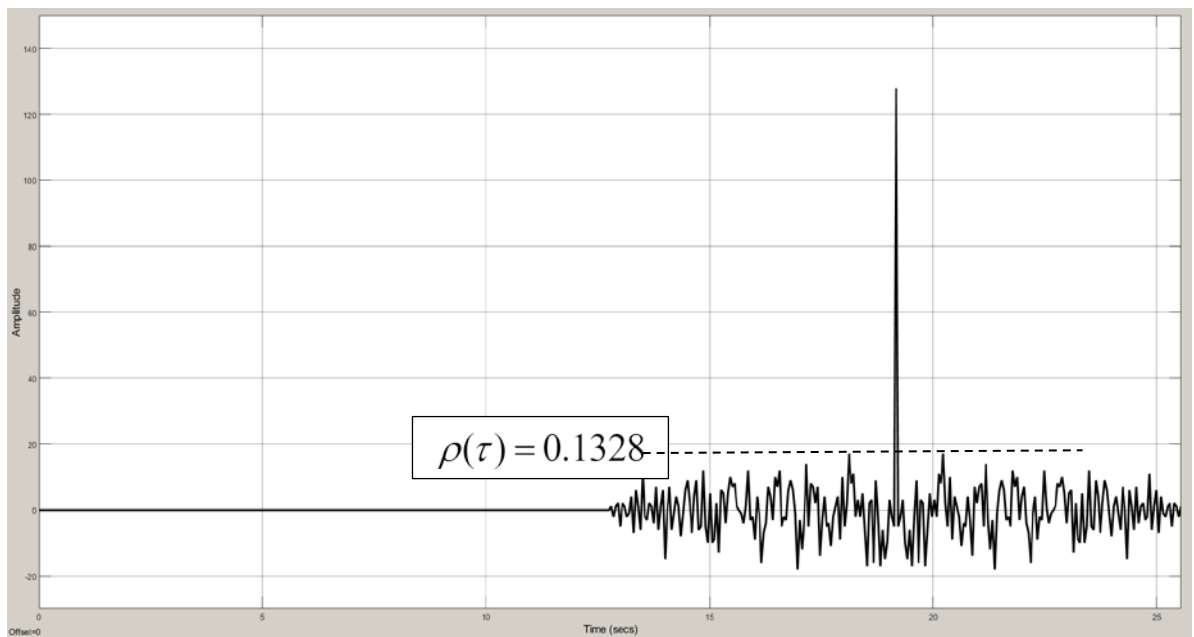


Рисунок 5 – АКФ сигнала

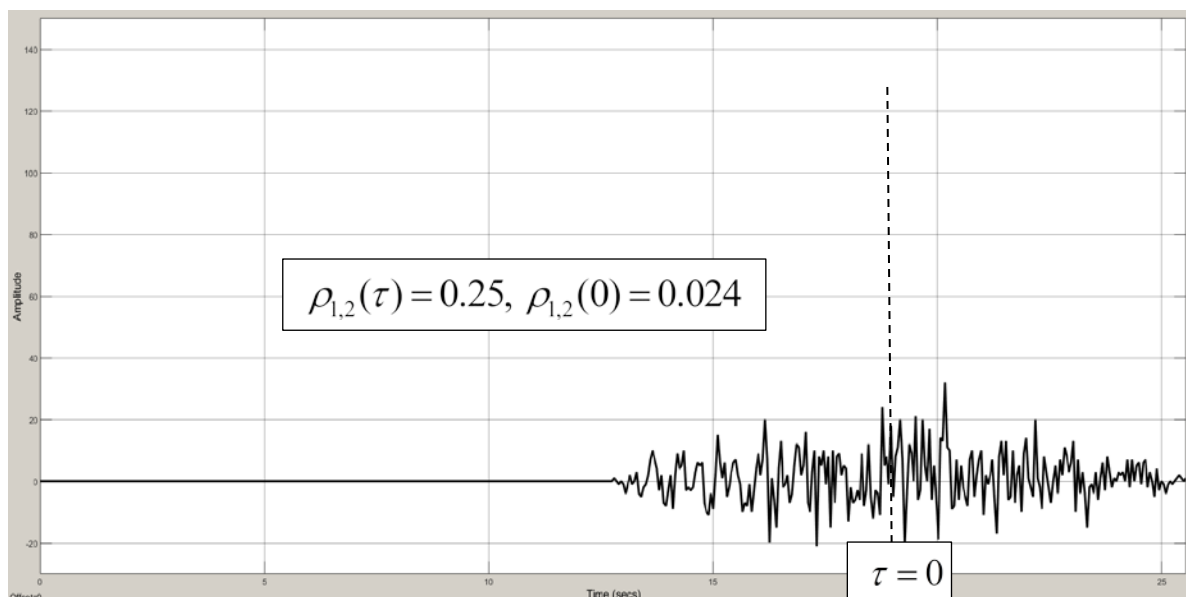


Рисунок 6 – ВКФ сигналов

В четвертом разделе проведен анализ спектрального свойства ШПС с ЧМн, которое включает основные спектральные свойства ДЧМ-сигналов и результаты компьютерного моделирования.

В общем случае спектр ПС-сигнала с ДЧМ может быть сильно изрезан, что может несколько ухудшить корреляционные свойства. Однако с ростом N степень изрезанности убывает, а форма спектра приближается к прямоугольной. Эффективная полоса частот, занимаемая ПС-сигналов с ДЧМ, $F_{эф} = N\Delta F$, а база $B = F_{эф}T = N^2$.

На рисунке 7 приведена пример спектра ШПС с ЧМн

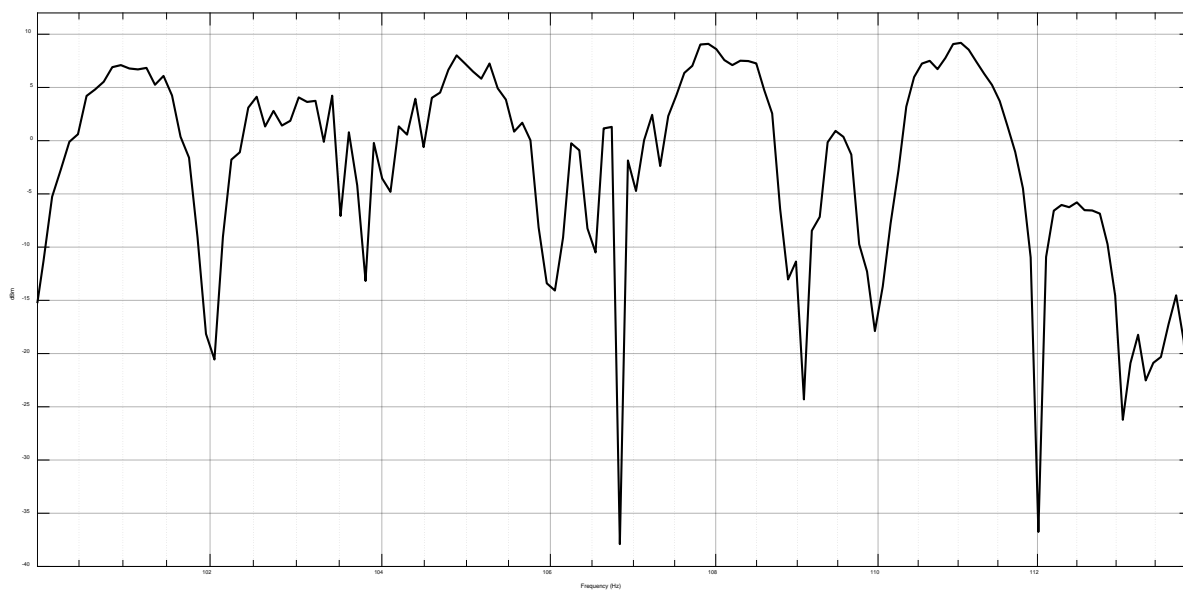


Рисунок 7 – Спектр сигнала

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации проведен синтез и анализ ансамбля шумоподобных сигналов с ЧМн.

Исходя из описанных основных свойств ПС-сигналов с ДЧМ, отметим основные достоинства и недостатки этого класса сигналов.

Основные достоинства:

- возможность получения большого ансамбля квазиортогональных сигналов;
- база сигнала B равна квадрату значности (N^2) модулирующей числовой последовательности;
- спектр сигнала в пределах F_{ϕ} близок к равномерному и обеспечивает лучшее использование выделенной полосы;
- ширина основного пика АКФ сигнала на уровне 0,5 не превышает величины τ_0/N , т.е. коэффициент сжатия по временной оси пропорционален N^2 ;
- возможность получения боковых остатков АКФ, не превышающих величины $1/N$;
- высокая структурная скрытность.

Основные недостатки:

- сложность формирования ансамбля когерентных ПС-сигналов, связанная с аппаратными трудностями получения сетки когерентных дискретных частот;
- сложность реализации когерентной цифровой обработки сигнала.

Несмотря на сложность анализа и обработки сигналов с ЧМн, они все еще являются важным инструментом в современных системах связи, таких как радио и телевизионные передачи, а также в беспроводных сетях передачи данных. Поэтому дальнейшее исследование корреляционных характеристик шумоподобных сигналов с ЧМн может помочь в разработке новых методов обработки и фильтрации таких сигналов, что повысит эффективность их использования в различных приложениях.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Тезисы конференций

1. Фам, К. Б. Актуальность направлений, способствующих повышению эффективности работы широкополосных радиосистем передачи цифровой информации / Фам К. Б., Нгуен К. Д. // Радиотехника и электроника : сборник

тезисов докладов 58-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, апрель 2022 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2022. – С. 190–192.

2. Фам, К. Б. Шумоподобные сигналы с дискретной частотной модуляцией / Фам К. Б., Карпушкин Э. М. // Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2022 : материалы научно-технической конференции, Минск, 29–30 ноября 2022 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2022. – С. 160–162.