

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

УДК _____

Костромин
Егор Александрович

Моделирование процессов обработки сигналов в приемных трактах
систем цифрового телевизионного вещания

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-45 80 01 «Системы, сети и устройства
телекоммуникаций»

Научный руководитель:
Липкович Эдуард Борисович
доцент

Минск 2016

ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Проектирование радиоприемных устройств — сложный современный процесс, представляющий собой поиск компромиссов и избрание выгодных альтернатив между количеством преобразований частоты, величинами промежуточных частот, сложностью схемотехники каждого каскада приемника и цифровой обработки радиосигнала и т.д.

При современном уровне технологии большинство радиоприемников и передатчиков могут быть реализованы в цифровой форме. В максимальном приближении цифровой части радиоприемного устройства (РПрУ) к антенне кроется множество преимуществ. Фактически размещение аналого-цифрового преобразователя (АЦП) на выходе высокочастотной части и выполнение непосредственной дискретизации на радиочастоте или на промежуточной частоте может показаться привлекательным, однако имеет несколько серьезных недостатков (в частности, в отношении чувствительности и внеполосного подавления).

Дискретизация сигналов на высокой частоте (радиочастоте или на промежуточной) предъявляет высокие требования к параметрам АЦП и цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП).

Кроме того, это дает основу для объединения на одном кристалле всех частей РПрУ, однако сейчас чаще используется традиционная квадратурная супергетеродинная структура. Разработчики приемных и передающих сигнальных процессоров стремятся достичь столь же высоких параметров, используя структуру с единственным преобразованием частоты. При этом устраняется необходимость применения сложного внешнего полосового фильтра. Единственным аналоговым каскадом остается преселектор, который обязательно должен включать в себя фильтр помех наложения, возникающих при последующем аналого-цифровом преобразовании сигнала. Дополнительной функцией цифровой обработки является функция децимации цифрового потока, которая сужает полосу пропускания, выделяя только интересующий сигнал.

Основной задачей диссертационной работы является разработка радиотракта приемника сигналов систем телевизионного вещания DVB-T/T2, DVB-C и его моделирование в среде MatLAB при условии обеспечения требуемых параметров приема.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В радиотракт беспроводного устройства входят все функциональные блоки между антенной и цифровой системой обработки сигнала основной частоты.

Основным назначением радиотракта является детектирование и обработка радиоволн, переданных на определенной частоте или в диапазоне частот и имеющих известный тип модуляции. С помощью модуляции передается полезная информация: голос, аудио-, видео- и другие данные. Для детектирования радиоволн приемник должен быть настроен в резонанс с частотой или частотами передачи. Эти принятые сигналы фильтруются от ненужных сигналов и помех, а затем усиливаются. После усиления происходит процесс демодуляции, во время которого полезная информация извлекается из радиосигнала.

Благодаря успехам в разработке и производстве интегральных схем, некоторые традиционные задачи аналоговой обработки сигнала промежуточной частоты (ПЧ) могут быть решены с помощью цифровых схем. Так, например, фильтрация и преобразование частоты сигнала могут быть выполнены цифровыми фильтрами и цифровыми сигнальными процессорами (ЦСП).

Повсеместный переход на цифровое телевизионное вещание обуславливает потребность в приемном оборудовании. Одним из этапов при его разработке является математическое моделирование, позволяющее на начальном этапе оценить правильность принятых решений и сократить временные и финансовые затраты.

В диссертационной работе произведен аналитический обзор вариантов построения радиоприёмных трактов, выбор технических требований к проектируемому устройству, разработана структурная схема устройства. Также разработан и обоснован тракт промежуточной частоты, выполнены расчеты параметров отдельных блоков, рассмотрено их влияние на общие параметры радиотракта. Произведено математическое моделирование разработанного радиотракта в пакете прикладных программ MatLAB и рассмотрены его результаты.

В диссертационной работе ставятся и решаются следующие задачи:

- проектирование мультисистемного радиоприемного тракта согласно техническим требованиям и мировым стандартам;
- разработка математических моделей элементов радиоприемного тракта;
- разработка схемы декодера пилот-сигналов и алгоритма автоматического определения параметров принимаемого сигнала;
- анализ алгоритмов обработки сигналов при приеме, преобразовании частоты и демодуляции радиосигналов цифрового ТВ.

БАЗОВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, даётся краткая характеристика её разработанности, определяются объект и предмет иссле-

дования, цель и задачи, указана теоретико-методологическая основа, формулируются основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Первая глава «Анализ современных методов построения цифровых радиоприемных трактов» включает в себя различные вариации построения радиоприемных трактов и их техническое обоснование и состоит из группы подразделов.

В подразделе 1.1 «Принципы построения цифровых радиоприемных трактов» вкратце рассматривается предназначение каждого блока радиотракта и его самого в целом в приемном устройстве. Приводятся основные требования к их реализации.

В подразделе 1.2 «Основные архитектуры радиоприемных трактов» рассматриваются возможные варианты построения радиоприёмных трактов: тракт приема с двойным преобразованием частоты; тракт приема с одним преобразованием частоты; приемники с прямым преобразованием частоты; приемники с низкой промежуточной частотой; широкополосные приемники с двойным преобразованием частоты; приемник с субдискретизацией; приемники с цифровой промежуточной частотой.

В каждой из частей подраздела приводится блок-схема радиоприемного тракта, с обоснованием работы каждого элемента схемы в отдельности, а также прописан путь прохождения радиосигнала и его преобразование в течение прохождения рассматриваемой системы.

В течение представления различных архитектур сравниваются методы преобразования промежуточной частоты, и предоставляются достоинства и недостатки той или иной архитектуры.

Для представленных архитектур радиоприемника обосновывается достижение высоких значений параметров и характеристик приемника, а также экономическая выгода при их реализации.

В подразделе 1.3 «Современные конструкции цифровых приемников» рассматриваются основные преимущества использования цифровых приемников, а также важность взаимосвязи между цифровыми и аналоговыми компонентами, так как они в значительно большей степени определяют общие свойства приемника. Предложены варианты цифровых приемников нескольких поколений.

Вторая глава «Разработка и обоснование структурной схемы тракта промежуточной частоты» включает в себя разработку аналогового и цифрового трактов промежуточной частоты. Представлены основные технические требования к разрабатываемой системе, исходя из ее назначения, а именно использования в составе радиоприемного оборудования систем ЦТВ DVB-T, DV-T2, DVB-C.

В подразделе 2.1 «Аналоговый тракт» проектируется наиболее критичная часть радиоприемного тракта. В данном подразделе рассматривается целесообразность использования малошумящего усилителя после полосового фильтра на первом блоке приемной стороны. Рассчитаны суммарные коэффициенты шума многокаскадного усилителя $K_{ш\Sigma}$ для двух вариантов (с и без усилителя), и было определено, что выигрыш от присутствия МШУ составляет 16,8 раз (или 12,25 дБ).

Рассмотрен синтезатор частоты с ФАПЧ, его преимущества и недостатки, предложен вариант устранения большего времени перестройки и более высокого уровня фазового шума путем включения смесителя в цепь обратной связи. Продуман вариант введения большего числа смесительных каскадов для корректировки фазовых шумов в зависимости от конкретных требований.

При проектировании рассмотрена проблема ложного захвата частоты, связанная с применением схем, основанных на частотном преобразовании. Формирование и выделение комплексной огибающей полосового радиосигнала представлены графически и математически при помощи умножения входного сигнала на комплексную экспоненту. Удвоенная несущая устраняется при помощи ФНЧ. Рассмотрены графически и математически требования, предъявляемые к проектируемому фильтру нижних частот квадратурного гетеродина с фазовращателем, а также его способность подавления по зеркальному и соседнему каналам.

В подразделе 2.1 «Цифровой сигнальный тракт» рассматривается проектирование радиотракта после аналого-цифрового преобразователя. Согласно техническим требованиям вычислена длительность и количество отсчетов символа OFDM в различных режимах $1k \dots 32k$, и, следовательно, ёмкость буферного задерживающего устройства RAM. Выбрана разрядность АЦП согласно отношению сигнал/шум входного сигнала ОСШ (а также параметру MER), виду модуляции (размерности QAM), пик-фактору сигнала $PAPR_{реал}$, а также качеству работы системы $APUK_{погр.Ару}$. Также рассмотрен алгоритм быстрого преобразования Фурье, используемый при проектировании математической модели в пакете программ Matlab. Вычислен коэффициент коррекции $AЧХK_{кор}(f_i)$ для более точного восстановления пилот-сигналов и, следовательно, приемного потока данных. Далее представлена схема демодулятора QAM, его работа с помощью математических выражений для использования в пакете программ Matlab.

В подразделе 2.3 «Общая структурная схема тракта промежуточной частоты» представлена полная схема проектируемого радиоприемного тракта в соответствии с подразделами 2.1 и 2.2.

Третья глава «Модуль обработки пилот-сигналов» детально описывает процесс обработки пилот-сигналов. Рассмотрено использование преамбул P1 и P2 сигналов OFDM. Представлена блок-схема определения начальных параметров сигнала для точной временной и частотной синхронизации.

Четвертая глава «Реализация моделей процессов преобразований сигналов в приемных трактах систем НЦТВ в среде Matlab» посвящена моделированию спроектированной в прошлых разделах системы с помощью среды Matlab. Представлена блок-схема алгоритма моделирования приемного радиотракта. Представлены осциллограммы и спектры сигнала, пропущенного через созданную модель, после каждого важного блока схемы. Представлена схема используемого ФНЧ 5-го порядка и его характеристик. Проанализированы полученные графики на входе и выходе созданной математической модели приемного радиотракта, и, исходя из результатов, видно, что восстановленные потоки данных совпадают с изначальными, и, следовательно, разработанная модель работает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Базируясь на выполненных в диссертационной работе теоретических исследованиях, можно сделать следующие выводы:

- произведено проектирование мультисистемного радиоприемного тракта согласно техническим требованиям и мировым стандартам;
- разработана математическая модель элементов радиоприемного тракта;
- разработана схема декодера пилот-сигналов и алгоритма автоматического определения параметров принимаемого сигнала;
- выполнен анализ алгоритмов обработки сигналов при приеме, преобразовании частоты и демодуляции радиосигналов цифрового ТВ.

Поэтапно рассмотрено моделирование радиотракта приемника сигналов заданных систем телевизионного вещания, выполненного в пакете прикладных программ MatLAB, приведены соответствующие графики.

Использование математических моделей узлов радиоприемного тракта позволяет оценить его поведение в условиях воздействия шумов и помех, изучать влияние отклонения параметров от допустимых (идеальных) на качество обработки сигналов. Разработанные модели могут использоваться при проектировании радиоприемного оборудования, а также в учебном процессе.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

- **Козакевич, Е.Н. Характеристика цифровой оконечной станции радиорелейной связи** /Е.Н. Козакевич, Э. Б. Липкович // Современные средства связи. 14-15 октября 2014 г. XIX НТК – Минск : УО ВГКС, 2014. - 297с.