

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Куликова Геннадия Валентиновича

на диссертационную работу Алексева Георгия Алексеевича

«Синхронные устройства формирования и приема сигналов цифровых систем передачи информации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность работы

При проектировании синхронных устройств формирования и приема сигналов в современных радиотехнических цифровых системах передачи информации (ЦСПИ) одной из важных задач является обеспечение высоких требований к их динамическим характеристикам в режиме синхронизации без ухудшения фильтрующих свойств в синхронном режиме работы. С практической точки зрения эта задача может быть сформулирована следующим образом: обеспечение начальной синхронизации формируемых и опорных сигналов за отведенное служебное время сеанса связи при значительной частотной неопределенности входного сигнала и фиксированных параметрах системы в синхронном режиме слежения.

Эти требования зачастую являются противоречивыми, трудновыполнимыми, и, как правило, нереализуемыми на практике без дополнительных вспомогательных алгоритмов. Используемые на сегодняшний день синхронные структуры для задач формирования и приема сигналов обладают, как правило, недостаточным быстродействием в переходном режиме работы (режиме начальной синхронизации). Например, широко применяемая при квазикогерентной демодуляции ВРСК сигнала схема Костаса, построенная на основе традиционной системы ФАПЧ 2-го порядка, характеризуется достаточно длительным временем начальной синхронизации при $|\Delta\omega_{\text{нач}}| \gg K_{\text{ФАПЧ}}$, которое к тому же существенно возрастает при увеличении значений относительной начальной частотной расстройки.

Как следствие, в практических приложениях используются дополнительные вычислительные алгоритмы для первоначальной «грубой» оценки частоты и фазы входного сигнала. Аналогичный подход может использоваться и в устройствах косвенного синтеза частоты, выполненных на основе систем ФАПЧ с импульсным частотно-фазовым детектором и накачкой заряда (ИФАПЧ).

В связи с вышеизложенным, решаемая в диссертационной работе задача создания синхронных устройств формирования и приема сигналов ЦСПИ, оптимизированных по быстродействию в переходном режиме работы, является актуальной в условиях широкого диапазона допустимых начальных частотных расстроек и жесткого ограничения времени начальной синхронизации.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

29 11 2021 г.

Содержание диссертационной работы

Диссертация содержит 192 страницы, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и 2 приложений. Иллюстративный материал состоит из 104 рисунков и 24 таблиц. Список литературы содержит 129 наименований.

В **первой главе** рассмотрены архитектуры построения цифровых систем передачи информации с применением синхронных устройств формирования и приема на основе систем фазовой автоподстройки частоты. Проанализированы особенности поведения традиционной системы ФАПЧ в переходном и синхронном режимах работы. Рассмотрены представленные в научно-технической литературе решения задачи синтеза оптимальной по быстродействию системы ФАПЧ, а также известные методы аддитивного захвата частоты, в том числе, широко применяющиеся в настоящее время.

Во **второй главе** автор описывает методику структурной оптимизации фазового портрета традиционной системы ФАПЧ, обеспечивающую линеаризацию фазовых траекторий портрета системы при начальных частотных расстройках $\gamma_{\text{нач}} \gg 1$. Приведены результаты синтеза алгоритмов системы ФАПЧ с линеаризованным фазовым портретом в виде дифференциального уравнения, описывающего взаимосвязь производной фазового рассогласования с самим фазовым рассогласованием. Представлена структурная реализация полученных алгоритмов – глобально линеаризованная система синхронизации (ГЛСС).

В **третьей главе** представлены результаты разработки модуляторов и демодуляторов BPSK, QPSK сигналов и синтезатора частоты на основе ГЛСС. Формирование манипулированных по фазе сигналов на основе ГЛСС осуществляется путем перевода состояния системы между точками равновесия на фазовых портретах. Структуры демодуляторов разработаны с использованием принципа ремодуляции, компенсирующего входное информационное воздействие на фазу подстраиваемого генератора.

В **четвертой главе** дан вывод аналитического выражения для расчета времени частотной синхронизации системы ГЛСС. Сформулирована методика проектирования исследуемых синхронных устройств и приведены основные соотношения для расчета их параметров.

Пятая **глава** содержит результаты имитационного моделирования характеристик разработанных структур на основе ГЛСС в сравнении с известными аналогами.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- разработана методика оптимизации фазового портрета системы ФАПЧ, позволяющая линеаризовать фазовые траектории при значительных начальных частотных расстройках $\gamma_{\text{нач}} \gg 1$;

- получен алгоритм оптимизированной по быстродействию в режиме начальной синхронизации (при $\gamma_{\text{нач}} \gg 1$) глобально линеаризованной системы синхронизации и предложена ее структурная реализация;
- на основе разработанной ГЛСС разработаны новые алгоритмы и соответствующие структуры модуляторов, демодуляторов BPSK, QPSK сигналов и синтезатора частоты косвенного метода синтеза;
- получена аналитическая зависимость времени начальной частотной синхронизации ГЛСС от величины относительной начальной частотной расстройки и предложена методика расчета параметров устройств ГЛСС.

Практическая значимость

Разработанные в ходе диссертационного исследования соискателем новые структуры синхронных устройств (глобально линеаризованная система синхронизации, модуляторы и демодуляторы BPSK, QPSK сигналов, синтезатор частот) обладают высокими динамическими характеристиками.

В ходе имитационного моделирования и аналитического расчета получены результаты, свидетельствующие о существенном увеличении быстродействия по сравнению с известными ранее аналогами. В частности, при $\gamma_{\text{нач}} = 200$ ГЛСС превосходит систему ФАПЧ с импульсным ЧФД и накачкой заряда (система ИФАПЧ) по быстродействию примерно в 5 раз, при $\gamma_{\text{нач}} = 3000$ – более, чем в 60 раз. Выигрыш предложенного демодулятора BPSK по быстродействию в режиме начальной синхронизации по сравнению с демодулятором BPSK по схеме Коста на основе традиционной ФАПЧ при $\gamma_{\text{нач}} = 5$ составляет примерно 30 раз. Выигрыш синтезатора ГЛСС по быстродействию в сравнении с синтезатором частоты на основе ИФАПЧ составляет 4-9 раз.

Приведенные данные свидетельствуют о возможности применения предложенных синхронных структур в высокоскоростных цифровых системах передачи данных.

Необходимо отметить, что результаты работы уже использованы при разработке микросхемы СВЧ синтезатора частот косвенного метода синтеза на предприятии «НИИМА «Прогресс».

Достоверность результатов

подтверждается корректным использованием применяемых методов синтеза и анализа, правильностью используемых математических преобразований и совпадением полученных автором результатов в частных случаях с известными результатами других авторов.

Публикации

Автореферат и опубликованные работы достаточно полно раскрывают основные результаты диссертации. Всего по теме исследования у автора опубликовано 25 работ, из которых 5 – в журналах, входящих в перечень ВАК, 5

индексированы в международных системах WoS, Scopus, 6 патентов РФ на изобретения. Результаты работы докладывались и обсуждались на 9 конференциях, в том числе международных.

Замечания по диссертационной работе

К числу недостатков диссертационной работы можно отнести, как наиболее существенные, следующие:

1. Полученные структуры демодуляторов сигналов не являются оптимальными для синхронного режима работы по критерию максимума апостериорной вероятности (что автор справедливо указал в работе). При этом в диссертации приводятся результаты, свидетельствующие об устойчивой работе предложенного демодулятора BPSK при пороговых значениях отношения сигнал/шум 6-8,5 дБ. Как указано автором, для работы в данном диапазоне сигнал/шум применяется «заморозка» механизма ремодуляции и дополнительная фильтрация оценки частотного рассогласования, но отсутствует подробное описание вышеуказанных методов и не раскрыты соответствующие параметры модели.
2. В разделе «Практическая значимость» утверждается, что разработанные устройства предназначены для применения в ЦСПИ на скоростях передачи информации «до уровней порядка 1 Гбит/с» и при «быстрых изменениях несущей частоты в широком диапазоне частот». При этом в работе представлены результаты моделирования формирователей BPSK, QPSK сигналов со скоростями 300 Мбит/с на фиксированных рабочих частотах 3,2 и 6,4 ГГц и результаты моделирования предложенного демодулятора BPSK с информационной скоростью 1 Мбит/с. Таким образом, исходное утверждение не подтверждено в ходе представленных исследований.
3. Проведенные в работе экспериментальные исследования получены методами компьютерного моделирования. При этом использовались математические модели, не учитывающие нелинейность характеристик блоков, входящих в состав устройств, а также их собственные шумы, характерные при физической реализации. Данных о проведении натуральных экспериментов на реальном оборудовании (лабораторных макетах, образцах) не представлено. Непонятно, насколько реализуемы разработанные структуры, и какое преимущество будут иметь натурные образцы устройств в сравнении с аналогами.
4. Часть положений, выносимых на защиту, по своей формулировке скорее относится к категории «Результаты».
5. В тексте диссертации имеются ошибки пунктуации, нумерация списка литературы отличается от общепринятого.

Указанные недостатки не снижают ценности диссертационной работы, которая выполнена на высоком научно-техническом уровне.

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа написана грамотным техническим языком, логично выстроена. Полученные результаты обладают научной новизной и имеют серьезное значение для решения актуальных прикладных задач. Цель и задачи диссертационной работы можно считать достигнутыми.

Диссертация «Синхронные устройства формирования и приема сигналов цифровых систем передачи информации» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержит новые научные результаты, имеющие, в том числе, высокую практическую ценность, и отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации – Алексеев Георгий Алексеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 Радиотехника, в том числе, системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент

д.т.н., профессор,
профессор кафедры радиоэлектронных систем
и комплексов ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский
технологический университет»
Телефон: +79104562168
e-mail: kulikov@mirea.ru



Г.В. Куликов

22.11.2021

Личную подпись Куликова Геннадия Валентиновича удостоверяю

Начальник
Управления кадрами



М.М. Буханова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»
Адрес организации: 119454, г. Москва, проспект Вернадского, дом 78
Телефон: +7 499 215-65-65 доб. 1140