

УТВЕРЖДАЮ

Проректор МТУСИ по научной  
работе

Ю. Л. Леохин

« 7 » 12

2021 г.



### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ) на диссертационную работу Алексеева Георгия Алексеевича «Синхронные устройства формирования и приема сигналов цифровых систем передачи информации», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

#### Актуальность работы

Интенсивное развитие систем радиосвязи характеризуется значительным ростом объемов передаваемых данных, что достигается, в первую очередь, увеличением скоростей передачи информации и расширением рабочих диапазонов частот используемых в системе. Все это сопровождается ростом требований к динамическим параметрам синхронных устройств формирования и приема сигналов, строящихся на основе систем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), и применяемых в составе радиотехнических систем передачи информации. Такими устройствами, в частности, являются синтезаторы частоты косвенного метода синтеза, квазикогерентные демодуляторы дискретных сигналов. При разработке реальных приложений соответствующие требования к параметрам данных устройств могут быть сформулированы следующим образом:

- обеспечение ускоренной перестройки частоты ГУН в составе СВЧ синтезатора частот между литерами, в том числе в октавном диапазоне;
- обеспечение начальной синхронизации по частоте и фазе квазикогерентного демодулятора в расширенном диапазоне значений начальных частотных расстроек за установленное время передачи служебной части сообщения (синхронизационной преамбулы).

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

« 10 » 12 2021 г.

Применяемые традиционные алгоритмы и структуры устройств в ряде случаев не способны обеспечить возросшие требования. В связи с этим, возникает актуальная задача повышения быстродействия синхронных устройств обработки сигналов в расширенных диапазонах частотных расстройек.

Решению данной актуальной задачи посвящена диссертационная работа Г.А. Алексеева. В ней представлены результаты синтеза оптимизированной по быстродействию в режиме начальной синхронизации системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и разработки новых быстродействующих синхронных структур на ее основе: модуляторов, демодуляторов сигналов бинарной и квадратурной фазовой манипуляции (BPSK, QPSK), синтезатора частоты.

### **Содержание диссертационной работы**

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

В первой главе выполнен обзор существующих подходов к решению задачи повышения быстродействия систем ФАПЧ в переходном режиме работы. Рассмотрена структура традиционной системы ФАПЧ, существующие решения задачи синтеза оптимальной по быстродействию системы ФАПЧ, методы аддитивного захвата частоты, применяемые совместно с ФАПЧ.

Во второй главе представлен анализ фазовых портретов традиционных систем ФАПЧ и результаты проведенного структурного синтеза оптимизированной по быстродействию переходного режима работы глобально линеаризованной системы синхронизации – ГЛСС.

В третьей главе представлены результаты разработок алгоритмов и структур модуляторов и демодуляторов BPSK, QPSK сигналов, а также синтезатора частоты, выполненных на основе ГЛСС.

В четвертой главе представлены основные соотношения для расчета параметров разработанных структур. Осуществлен вывод аналитического выражения для оценки времени начальной синхронизации структур ГЛСС в зависимости от величины начальной частотной расстройки.

В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований на имитационных моделях Simulink характеристик разработанных устройств на основе ГЛСС в сравнении с существующими аналогами на основе традиционных структур.

**Научная новизна** диссертационных исследований заключена в следующих полученных новых научных результатах.

- Предложена методика оптимизации фазового портрета традиционной системы ФАПЧ, обеспечившая линейризацию фазовых траекторий в условиях значительных относительных начальных частотных расстройек ( $\gamma_{\text{нач}} \gg 1$ ).
- Получены алгоритмы и структура глобально линейризованной системы синхронизации (ГЛСС), оптимизированная по быстродействию в режиме начальной синхронизации при  $\gamma_{\text{нач}} \gg 1$ .
- На основе структуры ГЛСС разработаны быстродействующие синхронные структуры модуляторов, демодуляторов BPSK, QPSK сигналов, синтезатора частоты косвенного метода синтеза.
- Получена формула оценки времени начальной частотной синхронизации устройств ГЛСС в зависимости от величины относительной начальной частотной расстройки. Сформирована методика расчета параметров устройств ГЛСС.
- Разработаны математические и имитационные Simulink модели устройств ГЛСС. Путём программной симуляции получены экспериментальные характеристики и проведен сравнительный анализ на основе полученных данных разработанных устройств и традиционных аналогов.

#### **Апробация результатов работы и публикации**

Опубликованные работы достаточно полно раскрывают материалы диссертации. Всего по теме диссертационного исследования опубликовано 25 работ, из которых 5 в журналах, входящих в перечень ВАК, 5 в изданиях, индексируемых в международных системах WoS, Scopus. Основные результаты работы были доложены на 9 конференциях, в том числе международных. На разработанные в рамках диссертационного исследования структуры получено 6 патентов РФ на изобретения.

#### **Достоверность результатов**

Полученные автором результаты можно считать достоверными. Для построения имитационных моделей использовалось апробированное программное обеспечение Simulink (MATLAB) фирмы Mathworks. Результаты симуляции верифицированы данными аналитического расчета и результатами, представленными в публикациях других авторов.

#### **Соответствие содержания диссертации автореферату и указанной специальности**

Автореферат достаточно адекватно отражает содержание диссертации. Представленная работа соответствует паспорту специальности 2.2.13

«Радиотехника, в том числе, системы и устройства телевидения».

- В части формулы специальности п. 3 «Разработка устройств генерирования, усиления, преобразования радиосигналов в радиосредствах различного назначения». «Создание методик их расчета и основ проектирования».
- В части формулы специальности п. 8 «Создание теории синтеза и анализа, а также методов моделирования радиоэлектронных устройств».
- В части формулы специальности п. 9 «Разработка научных и технических основ проектирования, конструирования, технологии производства, испытания и сертификации радиотехнических устройств».

### **Практическая значимость результатов полученных авторов**

Разработанные синхронные устройства обладают улучшенным быстродействием по сравнению с известными аналогами, что подтверждено результатами имитационного моделирования в Simulink. Преимущество в скорости синхронизации может достигать порядка и более. В частности, время синхронизации ГЛСС меньше чем у традиционных систем ИФАПЧ в 5 ÷ 62 раза. У синтезатора частоты на основе ГЛСС в сравнении с синтезатором частоты на основе системы ИФАПЧ от 4,5 до 9 раз при октавной перестройке. У демодулятора BPSK на основе ГЛСС по сравнению с демодулятором BPSK Костаса при  $\gamma_{нач} = 5$  время синхронизации меньше в 30 раз.

Разработанные синхронные устройства могут быть использованы при построении современных высокоскоростных систем радиосвязи с высокими скоростями передачи данных и быстрыми изменениями несущей частоты сигнала в широком (октавном) СВЧ диапазоне рабочих частот. В частности, результаты имитационного моделирования показывают возможность формирования на несущих частотах 3,2 и 6,4 ГГц модулированных BPSK, QPSK сигналов со скоростью манипуляции 300Мбит/с.

Продемонстрирована возможность октавной перестройки частоты в диапазоне 3,2÷6,4ГГц синтезатора частоты ГЛСС с временем синхронизации от 0,68 до 50 мкс, в зависимости от величины коэффициента петлевого усиления.

### **Замечания по диссертационной работе**

Среди выявленных недостатков диссертационной работы соискателя следует отметить следующие:

1. В работе не рассмотрено насколько для СВЧ диапазона проработанными теоретически и используемыми на практике являются

методы формирования и приема сигналов, осуществляемыми на основе систем ФАПЧ. Отсутствуют количественные данные по преимуществам таких методов перед методами цифрового синтеза и традиционных подходов при обработке сигналов на нулевой/промежуточной частоте с последующим переносом в СВЧ диапазон.

2. На рисунках с графиками фазовых портретов некорректно введены обозначения. Оси представляются нормированными безразмерными величинами, в то время как некоторые выделенные на графиках участки, определяются размерными величинами (в частности  $K_{\text{ФАПЧ}}$ ).
3. Присутствует ошибка (видимо, описка) в комментариях к результатам имитационного моделирования демодуляторов BPSK. По полученным данным демодулятор ГЛСС в случае без шумов и при отношении С/Ш 8дБ имеет одинаковое время синхронизации при расстройке 136кГц, а при расстройке 400кГц имеет время в 3 раза большее. Это верно указано в тексте работы в комментариях к результатам на с. 134. На с.142 же указано, что при отношении С/Ш 8дб в 3 раза большее время выходит уже в случае расстройки 136кГц. То есть автор ошибся, ухудшив результаты для своей структуры.
4. Полученное аналитическое соотношение оценки времени синхронизации ГЛСС не учитывает влияние аналоговой ветви, а также состояния фаз входного и опорного сигналов в начальный момент времени, с чем может быть связана погрешность оценки при малых расстройках частоты, достигающая 40%.
5. В тексте работы встречаются пунктуационные и стилистические ошибки.

Указанные недостатки не снижают научно-технической ценности диссертационной работы, которая в целом заслуживает положительную оценку.

### **Заключение**

Диссертация Алексева Г. А. «Синхронные устройства формирования и приема сигналов цифровых систем передачи информации» представляет собой цельную, обладающую внутренним единством, научно-исследовательскую работу, которая по актуальности, объему проведенных исследований, научной новизне и практической значимости полученных результатов соответствует требованиям пунктов 9-10 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Правительством РФ от 24

сентября 2013 года № 842.

Автор Алексеев Георгий Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе, системы и устройства телевидения».

Отзыв подготовлен доктором технических наук, профессором, зав. кафедрой «Радиооборудование и схемотехника» МТУСИ Пестряковым А.В.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Радиооборудование и схемотехника» Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ), протокол № 4 от «7» декабря 2021 года.

  
\_\_\_\_\_ (А.В. Пестряков)

**Сведения о ведущей организации:**

Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ)

Адрес: 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8а

Тел.: +7 (495) 957-77-31

Электронная почта: [mtuci@mtuci.ru](mailto:mtuci@mtuci.ru)

Сайт: <https://mtuci.ru>