



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ»
(АО «ВНИИРТ»)**

Большая Почтовая ул., д. 22, Москва, 105082
тел.: (499) 267-66-04; факс: (499) 265-60-38;
e-mail: vniirt@vniirt.ru; www.vniirt.ru
ОКПО 07505269, ОГРН 1027701015352, ИНН/КПП 7701315700/774550001

30.06.2026 № 300/8-3831
На № 19 от 19.06.2026



УТВЕРЖДАЮ

заместитель генерального директора
АО «ВНИИРТ» по научной работе
кандидат технических наук

М.О. Мокрецов

2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт радиотехники» на диссертационную работу Грошкова Игоря Дмитриевича на тему «Формирователи когерентных радиосигналов с низким уровнем фазовых шумов на основе высокоскоростных цифро-аналоговых преобразователей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

Актуальность диссертационной работы

Развитие современных радиотехнических систем обуславливает необходимость совершенствования формирователей радиосигналов для генерирования высокостабильных когерентных сигналов с возможностью реализации различных видов модуляции. Одним из наиболее перспективных направлений является построение формирователей сигналов на основе комбинированных структур с использованием высокоскоростных цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) в специальных режимах работы. Такой подход позволяет использовать достоинства различных методов синтеза и значительно упростить структуру формирователя сигналов, обеспечив низкий уровень вносимых фазовых шумов.

На сегодняшний день проблема расчёта параметров формирователей когерентных радиосигналов с низким уровнем фазовых шумов на основе высокоскоростных ЦАП в специальных режимах работы остаётся актуальной и требует разработки научно-методического аппарата для её решения.

В диссертационной работе Грошкова И.Д. предложена и экспериментально подтверждена методика расчёта и проектирования формирователей когерентных радиосигналов на основе высокоскоростных ЦАП, использующих высшие зоны Найквиста для повышения частоты. Разработаны и

экспериментально подтверждены математические модели спектральной плотности мощности (СПМ) фазовых шумов (ФШ) формирователей сигналов, отличающиеся от существующих тем, что в них учитывается влияние специальных режимов работы высокоскоростных ЦАП. Предложена и реализована структура цифрового формирователя фазоманипулированных сигналов, которая позволила повысить его быстродействие и сократить необходимый объем блоков памяти в два раза. Предложена схема гибридного синтезатора частот с квадратурным модулятором и двухканальным ЦАП для смещения частоты в цепи обратной связи ФАПЧ, которая позволяет уменьшить коэффициент деления в цепи обратной связи и расширить диапазон подстройки синтезатора с помощью цепи смещения подавив зеркальную частоту и остаточный сигнал несущего колебания более чем на 32 дБ.

В связи со всем вышесказанным, исследование формирователей когерентных радиосигналов с низким уровнем фазовых шумов на основе высокоскоростных цифро-аналоговых преобразователей, проведенное в диссертационной работе Грошкова И.Д., является актуальным.

Анализ содержания диссертации

Диссертационная работа Грошкова И.Д. изложена на 166 страницах машинописного текста, включающего достаточное количество иллюстрированного материала (75 рисунков). Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы, включающего 119 источников, в том числе публикаций автора – 16.

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертации и проанализирована текущая степень разработанности проблемы проектирования формирователей когерентных радиосигналов с низким уровнем фазовых шумов на основе высокоскоростных ЦАП. Сформулирована цель исследования и обозначен перечень задач, необходимых для её достижения. Представлены основные положения, выносимые на защиту, раскрыта научная новизна, а также теоретическая и практическая значимость проведённой работы. Проведена оценка достоверности полученных результатов и их теоретическая и практическая значимости.

В первой главе выполнен комплексный обзор основных параметров устройств синтеза высокочастотных сигналов. Определены ключевые характеристики формирователей высокочастотных сигналов, применяемых в приёмопередающих радиосистемах, использующих сложно-модулированные сигналы. Проведён анализ основных методов синтеза частот и принципов формирования сложно-модулированных сигналов в радиопередающих устройствах. Особое внимание уделено формирователям сигналов на основе высокоскоростных ЦАП, использующих образы сигнала в высших зонах

Найквиста. Описаны основные режимы работы таких ЦАП, обеспечивающие возможность изменения огибающей частотного спектра формируемого сигнала с целью увеличения амплитуды образов в высших зонах Найквиста.

Чётко сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе проведён анализ структурных схем формирователей высокочастотных сигналов на основе высокоскоростных ЦАП. На основе проведённого анализа предложена обобщённая структурная схема, адаптированная для применения в когерентных радиосистемах. Разработан специализированный алгоритм частотного планирования, позволяющий определить коэффициенты умножения, номера зон Найквиста и коэффициенты передачи ЦАП необходимые для реализации формирователя сигналов с требуемыми характеристиками. Также представлена методика, позволяющая на основе предложенного алгоритма автоматизировать процесс проектирования формирователей когерентных радиосигналов. Эффективность предложенных решений подтверждена примерами разработки формирователей высокочастотных сигналов для когерентных радиосистем.

Третья глава посвящена исследованию методов математического моделирования шумовых характеристик устройств формирования и преобразования радиосигналов. Получены математические модели СПМ ФШ генератора опорной частоты и устройства распределения тактовых сигналов. Исследованы существующие математические модели шумовых характеристик устройств прямого цифрового синтеза и предложена модель СПМ ФШ высокоскоростных ЦАП, учитывающая изменение амплитуды сигнала в специальных режимах работы. На основе предложенной модели проведено математическое моделирование СПМ ФШ формирователей высокочастотных сигналов когерентной радиосистемы, использующих комбинацию различных методов синтеза, что позволило прогнозировать уровень СПМ ФШ каждого из каскадов и определить звенья схемы, вносящих наибольший шумовой вклад.

В четвёртой главе разработана структура цифрового формирователя фазоманипулированных сигналов на основе ЦАП с двух портовым интерфейсом и удвоенной скоростью передачи данных – схема с комбинированием данных, позволяющая повысить быстродействие и сократить необходимый объем блоков памяти цифрового формирователя сигналов. Проведено экспериментальное подтверждение моделей СПМ ФШ формирователей высокочастотных сигналов когерентной радиосистемы, использующих комбинацию различных методов синтеза. Предложена структура гибридного синтезатора частот на основе высокоскоростного двухканального ЦАП и квадратурного модулятора — решение снижает коэффициент деления в цепи обратной связи ФАПЧ, одновременно подавляя зеркальную частоту и сигнал несущего колебания позволяя расширить диапазон подстройки синтезатора.

В разделе «**Заключение**» диссертантом обобщены проведенные исследования и полученные результаты. Выводы диссертационного исследования логически вытекают из изложенных результатов и соответствуют поставленным в работе цели и задачам.

Научная новизна

Научная новизна работы Грошкова И.Д. состоит в следующем.

Разработана методика расчёта и проектирования формирователей когерентных радиосигналов на основе высокоскоростных цифро-аналоговых преобразователей, использующих высшие зоны Найквиста для повышения частоты отличающаяся тем, что она позволяет учесть особенности когерентного преобразования частоты в приёмном тракте и рассчитать параметры схемы для формирования сигнала в пределах отдельных зон Найквиста. Разработаны математические модели спектральной плотности мощности фазовых шумов формирователей сигналов, отличающиеся от существующих тем, что в них учитывается влияние специальных режимов работы высокоскоростных цифро-аналоговых преобразователей. Предложена структура цифрового формирователя фазоманипулированных сигналов, позволяющая повысить его быстродействие и сократить необходимый объем блоков памяти в два раза.

Оценка научной и практической значимости диссертации

Диссертационная работа Грошкова И.Д. несомненно имеет высокую фундаментальную и практическую значимость.

Теоретическая значимость исследований, проведенных диссертантом, заключается в разработке методики расчёта параметров формирователей когерентных радиосигналов на основе высокоскоростных ЦАП в специальных режимах работы, использующих высшие зоны Найквиста для повышения частоты, а также разработке и экспериментальном подтверждении математических моделей шумовых характеристик формирователя когерентных радиосигналов с учётом влияния специальных режимов работы высокоскоростного ЦАП.

Практическая ценность полученных в диссертационной работе результатов заключается в том, что предложены схемы формирователей сигналов на основе высокоскоростного ЦАП, позволяющие генерировать сложно-модулированные, когерентные радиосигналы с уровнем СПМ ФШ не более минус 120 дБ/Гц на отстройке 1 кГц от несущей частоты.

На основе разработанного алгоритма частотного планирования автором реализована программа проектирования формирователей когерентных радиосигналов на основе высокоскоростных ЦАП и предложена методика,

позволяющая выбирать наилучший вариант реализации при использовании высокоскоростные ЦАП в специальных режимах работы.

Предложенная Грошковым И.Д. схема цифрового формирователя фазоманипулированных сигналов с комбинированием данных позволяет повысить его быстродействие и сократить необходимый объем блоков памяти в два раза. Теоретически показано и экспериментально подтверждено, что при комбинировании данных ЦАП в режимах работы RZ и RF амплитуды образов в 4, 5 зонах Найквиста увеличиваются на 5-15 дБ по сравнению с режимом, не использующим предложенную схему.

Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертации

Предложенная в диссертационной работе методика проектирования, алгоритм частотного планирования и полученные модели СПМ ФШ формирователей когерентных радиосигналов подтверждены экспериментально. Обоснованность выводов, представленных в диссертационной работе, подкреплена использованием общепринятой методики исследования шумовых характеристик. Предложенные автором структурная схема цифрового формирователя фазоманипулированных сигналов и гибридного синтезатора частот защищены патентами.

Апробация работы

Основные результаты диссертации опубликованы в 16 работах, в том числе 4 статьи в журналах перечня ВАК, 1 публикация, индексируемая в международной реферативной базе Scopus, 2 патента на полезную модель и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 8 тезисов докладов. Результаты диссертации апробированы на международных и Всероссийских научно-технических конференциях.

Замечания по диссертационной работе

1. В третьей главе диссертации указывается, что оценка шумов ЦАП в одной из рассмотренных моделей проводилась на основе метода сложения мощностей нескольких независимых источников колебаний для учета амплитудных и фазовых шумов на выходе ЦАП. Корректно было бы сделать такой учет для других моделей обсуждаемых в главе 3.

2. Результаты моделирования СПМ ФШ синтезатора частот на основе ЦАП МХТ2139 приведены на рисунках 3.7 и 3.8, но вклад собственных шумов ЦАП не показан.

3. Непонятно, что такое f_T на рисунке 3.8, ранее для определения режима ЦАП использовалась частота $f_{ог}$.

4. На рисунках 4.12 и 4.14 показан сигнал на выходе ЦАП МХТ2139, но не указано, какой параметр показан красной пунктирной линией.

5. В работе есть некоторые речевые ошибки и недочеты по оформлению.

Следует отметить, что отмеченные замечания и недочеты не являются критичными не снижают общей высокой оценки выполненных исследований и не ставят под сомнение достоверность полученных результатов.

Заключение

Диссертационная работа Грошкова И.Д. «Формирователи когерентных радиосигналов с низким уровнем фазовых шумов на основе высокоскоростных цифро-аналоговых преобразователей» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне и вносящую значимый вклад в развитие радиотехники. Содержание работы полностью соответствует специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, а именно п.3 «Разработка и исследование радиотехнических устройств и систем, обеспечивающих улучшение характеристик точности, быстродействия и помехоустойчивости.» и п.4 «Разработка и исследование устройств генерирования, усиления, преобразования и синтеза радиосигналов, сигналов изображения и звука в радиотехнических системах различного назначения, включая системы телевидения. Создание эффективных методов их расчета и основ проектирования». Работа удовлетворяет всем требованиям пп. 9 – 11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Грошков Игорь Дмитриевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании научной секции Научно-технического совета АО «ВНИИРТ» 16 июня 2026 года (протокол №10).

Отзыв составил:

к.т.н. 05.12.21 – «Радиотехнические системы специального назначения, включая технику СВЧ и технологию их производства», начальник отдела АО «ВНИИРТ»


 Алексей Владимирович Королёв
 16.06.2026