

ОТЗЫВ

официального оппонента Шерстюкова Сергея Анатольевича
на диссертационную работу Грошкова Игоря Дмитриевича
«Формирователи когерентных радиосигналов с низким уровнем фазовых шумов на основе высокоскоростных цифро-аналоговых преобразователей»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

Актуальность темы диссертационной работы.

Современные радиотехнические системы, предъявляют всё более жёсткие требования к устройствам формирования высокочастотных сигналов. Ключевыми требованиями являются: низкий уровень фазовых шумов, высокая скорость перестройки несущей частоты, обеспечение когерентности нескольких каналов, широкий диапазон частот и способность генерировать сложные модулированные сигналы при минимальных массогабаритных и энергетических характеристиках. Традиционные методы синтеза частот — прямой аналоговый и косвенный (на основе систем фазовой автоподстройки частоты) — либо не обеспечивают требуемой спектральной чистоты и скорости перестройки, либо приводят к усложнению и удорожанию аппаратуры. Прямой цифровой синтез (DDS) на основе классических цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) ограничен быстрым спадом амплитуды сигнала в высших зонах Найквиста, что затрудняет его использование в S-диапазоне (2–4 ГГц) и выше без дополнительных преобразователей частоты.

Использование современных высокоскоростных ЦАП в специальных режимах работы (RZ, RF/Mixed-Mode, 2×NRZ и др.) позволяет эффективно формировать сигналы непосредственно в S-диапазоне за счёт использования копий спектра (образов) в высших зонах Найквиста.

Однако, несмотря на перспективность данного подхода, в открытой литературе до сих пор отсутствуют систематизированные методики расчёта и проектирования таких формирователей, а также полные математические модели спектральной плотности мощности фазовых шумов, учитывающие специфику специальных режимов работы высокоскоростных ЦАП. В связи с вышеизложенным диссертационное **исследование Грошкова И.Д. является несомненно актуальным** как с научной, так и с практической точки зрения,

поскольку направлено на разработку научно-методического аппарата проектирования малошумящих когерентных формирователей сигналов на основе высокоскоростных ЦАП с использованием образов в высших зонах Найквиста.

Научная новизна диссертационной работы.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Разработана методика расчёта и проектирования формирователей когерентных радиосигналов на основе высокоскоростных ЦАП, использующих высшие зоны Найквиста для повышения частоты.

2. Разработаны математические модели спектральной плотности мощности фазовых шумов формирователей сигналов, отличающиеся от существующих тем, что в них учитывается влияние специальных режимов работы высокоскоростных ЦАП.

3. Предложена структура цифрового формирователя фазоманипулированных сигналов с комбинированием данных, позволяющая повысить быстродействие и сократить необходимый объём блоков памяти в два раза.

Практическая ценность.

Практическая значимость подтверждается следующими результатами:

1. Предложена структура формирователя когерентных сложно-модулированных радиосигналов S-диапазона частот на основе высокоскоростного ЦАП с использованием образов в высших зонах Найквиста, обеспечивающая уровень СПМ фазовых шумов не более минус 120 дБ/Гц на отстройке 1 кГц от несущей.

2. Разработан и реализован программный продукт для автоматизированного проектирования и частотного планирования формирователей сигналов, позволяющий сравнивать варианты построения и выбирать оптимальные.

3. Разработаны математические модели спектральной плотности мощности фазовых шумов формирователей, учитывающие специфику работы высокоскоростных ЦАП в специальных режимах.

4. Предложена структура цифрового формирователя фазоманипулированных сигналов с комбинированием данных, позволяющая повысить быстродействие и сократить требуемый объём памяти в два раза.

Достоверность полученных результатов и обоснованность положений, выносимых на защиту.

Все полученные в диссертации результаты достоверны, что подтверждается использованием методов регрессионного анализа, имитационного моделирования, спектрального анализа, проведением натурных экспериментов и сравнением результатов моделирования с экспериментальными данными. Основные положения, выносимые на защиту, чётко сформулированы и полностью доказаны.

Структура и содержание диссертационной работы и автореферата.

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована актуальность темы диссертации и определена цель исследования, сформулированы задачи исследования, представлены положения, выносимые на защиту, определена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, а также дана оценка достоверности, теоретической и практической значимости результатов работы.

В первой главе проведён обзор требований к формирователям высокочастотных сигналов, проанализированы традиционные методы синтеза частот и их особенности. Рассмотрены принципы работы высокоскоростных ЦАП в специальных режимах и использование образов сигнала в высших зонах Найквиста. Сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе предложена обобщённая структурная схема формирователя когерентных сигналов на основе высокоскоростных ЦАП. Разработан алгоритм частотного планирования и методика автоматизированного проектирования таких устройств. Приведены примеры проектирования формирователей сигналов с использованием предложенной методики.

В третьей главе исследованы факторы, влияющие на фазовые шумы радиосистем. Разработаны и проанализированы математические модели СПМ фазовых шумов основных функциональных звеньев формирователей сигналов, включая высокоскоростные ЦАП в специальных режимах. Выполнено моделирование шумовых характеристик формирователей когерентных сигналов.

В четвёртой главе предложена структура цифрового формирователя сложно-модулированных сигналов с комбинированием данных, позволяющая повысить быстродействие и сократить объём памяти в два раза.

Экспериментально подтверждены модели фазовых шумов. Предложена структура гибридного синтезатора частот на основе ЦАП и квадратурного модулятора, снижающая коэффициент деления в цепи ФАПЧ.

Общий объём составляет 166 страниц, включая 75 рисунков и 13 таблиц. Библиография содержит 119 наименований.

Тема и содержание работы соответствуют паспорту научной специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» по пунктам 3 «разработка и исследование радиотехнических устройств и систем, обеспечивающих улучшение характеристик точности, быстродействия и помехоустойчивости» и 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». Диссертационное исследование и автореферат оформлены в соответствии с требованиями научного стиля: изложение материала последовательно, аргументация базируется на эмпирических данных и теоретических положениях.

Публикации и апробация результатов диссертационной работы.

Результаты диссертации достаточно полно апробированы. Основные положения докладывались на международных и всероссийских конференциях (Владимир, Москва, Муром, Омск). По теме диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 4 статьи в изданиях из перечня ВАК РФ, 1 публикация в журнале, индексируемом Scopus, 2 патента на полезную модель и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Это полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Замечания по диссертационной работе:

1. В работе отсутствует описание механизма применения разработанных математических моделей для моделирования вклада отдельных звеньев в результирующий уровень фазовых шумов.

2. В исследовании не рассмотрены практические ограничения на номер образа сигнала, которые могут быть вызваны ограниченной полосой устройств согласования.

3. В тексте диссертации имеются грамматические ошибки и незначительные недочёты в оформлении.

Отмеченные замечания носят незначительный характер и не снижают общей высокой научной и практической ценности работы.

Заключение

На основании проведённого анализа считаю, что диссертационная работа «Формирователи когерентных радиосигналов с низким уровнем фазовых шумов на основе высокоскоростных цифро-аналоговых преобразователей», соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор — Грошков Игорь Дмитриевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Профессор кафедры инфокоммуникационных систем и технологий ФГКОУ ВПО «Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации»,
доцент, доктор технических наук
«02» июля 2026 г.

Шерстюков С.А.



Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации.

Адрес: 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, д. 53.

Тел. +7 (473) 264-90-15, http://vi.mvd.ru/request_main