

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор
АО «НИИ «Субмикрон»



Орлов А.В.

2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Акционерного общества «Научно-исследовательский институт «Субмикрон» на диссертационную работу Жизняковой Натальи Александровны «Математические модели быстродействующих цифро-аналоговых преобразователей в специальных режимах работы для формирования высокочастотных сигналов с малым уровнем фазовых шумов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

Актуальность диссертационной работы

Проблема увеличения скорости и дальности передачи данных в радиотехнических системах в последнее время становится всё более актуальной. Наиболее распространенными в настоящее время являются прямой метод синтеза частот (в свою очередь разделяющийся на прямой аналоговый и прямой цифровой) и косвенный метод синтеза частот. Использование того или иного принципа синтеза частоты обусловлено техническими требованиями, предъявляемыми к конкретной задаче.

Одним из распространенных в современных радиолокационных системах является метод прямого цифрового синтеза (DDS). Характерной особенностью DDS является то, что отсчеты синтезируемого сигнала вычисляются цифровыми методами, после чего с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) преобразуются в аналоговую форму. Максимальная выходная частота DDS зависит от значения тактовой частоты и, по теореме Котельникова, составляет половину тактовой частоты. Диапазон синтезируемых частот определяется возможностями фильтрации

полезной спектральной составляющей. Современные DDS практически не имеют ограничений по минимальной синтезируемой частоте. Основная сложность заключается в повышении максимальной частоты DDS при сохранении невысоких показателей спектрального шума, что может быть достигнуто повышением тактовой частоты либо используя образы основной частоты.

В диссертационной работе Жизняковой Н.А. разработан алгоритм частотного планирования быстродействующих ЦАП в специальных режимах работы, позволяющий рассчитать набор частот и параметры ЦАП для получения выходной частоты, используя образы основной частоты. Проведен расчет частотных планов для двух широко распространенных микросхем ЦАП AD9164 и AD9172 с использованием разработанного программного обеспечения для частотного планирования. Проведен анализ характеристик ЦАП в зависимости от частотного плана и режима работы. Разработана и исследована модель гибридного синтезатора, использующая для получения выходной частоты образы основной частоты и специальные режимы работы.

В связи со всем вышесказанным, разработка и исследование математических моделей быстродействующих ЦАП в специальных режимах работы для формирования высокочастотных сигналов с малым уровнем фазовых шумов, проведенные в диссертационной работе Жизняковой Н.А., является актуальной задачей.

Анализ содержания диссертации

Диссертационная работа Жизняковой Н.А. изложена на 163 страницах машинописного текста, включающего достаточное количество иллюстрированного материала (93 рисунка). Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 110 источников, в том числе публикаций автора – 31.

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулирована ее цель и задачи, указаны основные положения, выносимые на защиту, отражена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Введение содержит личный вклад автора, а также приведено краткое содержание диссертационной работы.

Первая глава посвящена анализу быстродействующих ЦАП, их применению при формировании сигналов и синтезе частот. Показано, что

основным недостатком метода прямого цифрового синтеза является проблема ограничения максимальной выходной частоты. Проведен анализ основных методов повышения выходной частоты формирователей радиосигналов. Рассмотрен метод повышения выходной частоты формирователей радиосигналов при помощи высокочастотных образов основной частоты

Вторая глава посвящена разработке математических моделей быстродействующих ЦАП в режимах работы: NRZ, 2xNRZ; специальных режимах: RZ, RF, RFZ, RFZ2. Проведен анализ спектров выходного сигнала ЦАП в специальных режимах работы. Разработаны новые специальные режимы работы ЦАП для увеличения амплитуд образов в высших зонах Найквиста - RFZ3, RFZ4.

Третья глава посвящена разработке математических моделей шумовых характеристик быстродействующих ЦАП в специальных режимах работы. Приведен обзор методик определения коэффициентов модели спектральной плотности мощности фазовых шумов цифровых вычислительных синтезаторов на основе экспериментальных характеристик. Проведен анализ шумовых характеристик радиоустройств, анализ математических моделей спектральной плотности мощности фазовых шумов быстродействующего ЦАП в специальных режимах работы и в предложенных автором специальных режимах работы RFZ3, RFZ4.

В четвертой главе приведен алгоритм частотного планирования быстродействующих ЦАП в специальных режимах. Проведен расчет частотного плана для микросхемы гипотетического ЦАП на основе AD9164, расчет спектральной плотности мощности фазовых шумов в зависимости от частотного плана. Приведены результаты моделирования спектральной плотности мощности фазовых шумов гибридного синтезатора частот.

В разделе **«Заключение»** автором 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 Жизняковой Н.А. состоит в следующем.

Впервые предложены два новых специальных режима работы быстродействующих цифро-аналоговых преобразователей, позволяющие

увеличить амплитуды образов основной частоты в высших зонах Найквиста. Разработаны математические модели быстродействующих цифро-аналоговых преобразователей в специальных режимах работы (NRZ, 2xNRZ, RZ, RF, RFZ, RFZ2), которые используют для повышения выходной частоты копии спектра (образы) основной частоты. Разработаны математические модели шумовых характеристик быстродействующих цифро-аналоговых преобразователей в специальных режимах работы. Разработан алгоритм частотного планирования быстродействующих ЦАП в специальных режимах работы, позволяющий обеспечить требуемые параметры (частоты) быстродействующих ЦАП при минимальном уровне фазовых шумов на заданных выходных частотах.

Оценка научной и практической значимости диссертации

Диссертационная работа Жизняковой Н.А. несомненно имеет высокую научную и практическую значимость.

Теоретическая значимость исследований, проведенных диссертантом, обусловлена широким применением полученных моделей быстродействующих ЦАП в режимах работы NRZ, 2xNRZ, RZ, RF, RFZ и RFZ2 и специальных режимах работы, позволяющих проводить исследования формирования высокочастотных сигналов с помощью копий спектра в высших зонах Найквиста.

Разработанные математические модели и предложенный алгоритм частотного планирования быстродействующих ЦАП позволяет по исходным данным получить соотношения частот и параметров цифро-аналогового преобразователя (в том числе произвести выбор наилучшего специального режима работы) при минимальном уровне фазовых шумов. Предложенная схема гибридного синтезатора на основе быстродействующих ЦАП в специальных режимах позволяет формировать высокочастотный опорный сигнал ФАПЧ, что позволяет получить пониженный уровень спектральной плотности мощности фазовых шумов в одиночной боковой полосе.

Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертации

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается использованием классических методов спектрального анализа, компьютерного и математического моделирования

радиотехнических систем. Полученные результаты не противоречат современным научным представлениям.

Апробация работы

Результаты диссертационной работы были представлены Жизняковой Н.А. в виде докладов на 6 конференциях (региональных, всероссийской, международных), 3 статьи в сборниках трудов, индексируемых Scopus, а также опубликовано 8 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 4 статьи в журналах РИНЦ.

Замечания по диссертационной работе

1. Во введении перечислены авторы, работы которых посвящены возможности применения образов основной частоты для повышения выходной частоты ЦАП, DDS и формирователей радиосигналов. Однако результаты работ U. L. Rohde, В. Манасевича, Е. Drucker, В.Н. Кочемасова не рассмотрены в диссертационной работе.

2. В диссертационной работе допущены неточности и опечатки, например:

- в таблице 1.2.1 Serial Peripheral Interface (SPI), I2C приведены как пример параллельных интерфейсов, хотя являются последовательными;
- исходя из данных таблиц 1.1.1, 1.1.2 рост тактовой частоты по годам выпуска микросхем не прослеживается;
- рисунок 3.2.7 имеет неправильную нумерацию;
- рисунок 3.2.8 не подписаны оси;
- таблица 4.2.6, строка варианта реализации 35, $K_{\text{цап}}=0,151$, а не 1,151;
- таблица 4.2.7, строка варианта реализации 16, номер образа $n = 1$, а не -1;

3. В главе 1 описывается актуальность диапазонов частоты до 300 ГГц, однако предложенный в работе образ основной частоты в 12 зоне Найквиста составляет ~ 30 ГГц, что на порядок ниже.

4. В работе не представлена экспериментальная часть, подтверждающая точности разработанных моделей и алгоритма.

5. Подраздел 4.2 «Разработка программного обеспечения для частотного планирования лучших режимов» содержит результаты расчетов

частотного плана для микросхем ЦАП, что не соответствует названию подраздела.

6. Объектом исследования в работе являлись быстродействующие ЦАП. Глава 1 содержит анализ быстродействующих ЦАП применительно к DDS, синтезаторы, использующие косвенный метод синтеза, и гибридные синтезаторы, не анализировались и не рассматривались. Вместе с тем, в подразделе 4.4 «Применение быстродействующих ЦАП в специальных режимах работы в гибридном синтезаторе» описывается гибридный синтезатор с использованием быстродействующего ЦАП.

Следует отметить, что приведенные замечания не носят принципиального характера, не снижают общей высокой оценки выполненных исследований и не ставят под сомнение достоверность полученных результатов.

Заключение

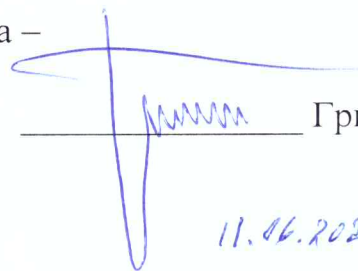
Диссертационная работа Жизняковой Н.А. «Математические модели быстродействующих цифро-аналоговых преобразователей в специальных режимах работы для формирования высокочастотных сигналов с малым уровнем фазовых шумов» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне и вносящую значимый вклад в развитие радиофизики. 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», 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» и п.15 «Разработка и исследование физических, математических и гибридных имитационных моделей радиотехнических устройств и систем, включая системы и устройства аналогового и цифрового телевидения и оптоэлектронных устройств». 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 Жизнякова Наталья Александровна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Диссертационная работа была рассмотрена и обсуждена на заседании научно-технического совета АО «НИИ «Субмикрон» « 10 » июня 2026 года (протокол № 2).

Первый заместитель Генерального директора –

Главный конструктор, к.т.н.


Гришин В.Ю.
11.06.2026г.

Полное наименование организации: Акционерное общество «Научно-исследовательский институт «Субмикрон»

Сокращенное наименование организации: АО «НИИ «Субмикрон»

Адрес: 124498, РФ, г. Москва, Зеленоград, Георгиевский проспект, дом 5,

строение 2, этаж 4, помещение 1, комната 50

тел.: 8-499-731-89-31; факс: 8-499-731-27-53

Сайт организации: <http://submicron.ru/>

Электронная почта: submicron@se.zgrad.ru

