

О Т З Ы В

официального оппонента Кошелева Виталия Ивановича
на диссертационную работу Докторова Андрея Николаевича
«Формирователи высокочастотных сигналов с использованием копий
спектра сигнала цифровых вычислительных синтезаторов», представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

Диссертационным советом и автором для оппонирования представлены:
диссертация на 162 стр., автореферат диссертации на 23 стр., акты внедрения,
копии основных публикаций автора по теме диссертации. Представленная
диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка
сокращений и условных обозначений, списка используемой литературы и
приложения.

Актуальность темы диссертации. Диссертационная работа Докторова
А.Н. посвящена решению актуальной проблемы повышения частоты
выходного сигнала цифровых вычислительных синтезаторов (ЦВС) и
формирователей сигналов на их основе, что остро необходимо в задачах
создания передающих устройств, в частности, для радиосистем связи и
локации. Практически применяемые методы на основе системы ФАПЧ и
умножения частоты на активных элементах при повышении частоты
формируемого сигнала имеют существенный недостаток, состоящий в
возрастании уровня фазовых шумов и нарушении когерентности сигнала, а
разработка новых интегральных цифровых вычислительных синтезаторов с
повышенной тактовой частотой вызывает значительные трудности при
практической реализации.

Диссертационная работа по содержанию и методологии решения задач
соответствует специальности 05.12.04 - «Радиотехника, в том числе
системы и устройства телевидения».

Содержание автореферата соответствует основным идеям и выводам
диссертации и правильно отражает содержание диссертационной работы.

Основное содержание диссертации отражено в положениях, выносимых на защиту, и состоит в следующем.

Автором проведен подробный обзор научных источников по тематике исследования, позволивший оценить достигнутый уровень научно-технических разработок по теме исследования, что подтверждает библиографический список использованных источников. Им проведен анализ методов повышения выходной частоты цифровых вычислительных синтезаторов, проанализированы их важнейшие параметры, методы экспериментального измерения шумовых характеристик и возможности повышения выходной частоты формирователей многоканальных когерентных систем. Оценены достоинства и недостатки различных вариантов решения задачи. В результате такого анализа диссертантом сделан вывод, что традиционные методы повышения тактовой частоты ЦВС трудно реализуемы, так как преобразование частоты вверх способно нарушить когерентность формируемых сигналов, применение систем ФАПЧ или многокаскадных умножителей частоты на активных элементах вызывает рост уровня фазовых шумов. Показано, что перспективным методом повышения выходной частоты ЦВС является использование копий спектра синтезируемой частоты – образов основной частоты цифровых вычислительных синтезаторов.

Для решения поставленной задачи автор применил и развил подход, основанный на применении копий спектра выходного сигнала цифрового вычислительного синтезатора. Появление копий спектра (образов основной частоты выходного сигнала) ЦВС обусловлено эффектами дискретизации, возникающих в цифро-аналоговом преобразователе. Данное направление повышения выходной частоты цифровых вычислительных синтезаторов и формирования сигналов является новым и практически мало исследованным, несмотря на то, что впервые идея использования копий спектра выходного сигнала высказана в 90-х годах XX века. В настоящее время такой подход используется в некоторых высокопроизводительных цифро-аналоговых

преобразователях, позволяющих формировать сигнал во второй и третьей зонах частоты Найквиста.

Автором разработана обобщенная структурная схема формирователя с использованием копий спектра сигнала ЦВС, проведен детальный анализ влияния параметров звеньев на параметры выходного сигнала. Показано, что для повышения амплитуд образов и, как следствие, отношения сигнал/шум устройства, целесообразно применение передискретизации выходного сигнала ЦВС. Описан алгоритм частотного планирования формирователей сигналов с использованием копий спектра сигнала цифровых вычислительных синтезаторов и разработано на его основе программное обеспечение частотного планирования формирователей когерентных сигналов. Эти результаты могут применяться для автоматизации проектирования формирователей сигналов.

Проведены экспериментальные работы и на их основе создана математическая модель фазовых шумов цифровых вычислительных синтезаторов, позволившая исследовать шумовые свойства формирователей когерентных сигналов. В эксперименте использовались современная приборная база: интегральный ЦВС AD9910, генератор опорной частоты SMA100A и анализатор сигналов и спектра FSUP8 компании Rohde & Schwarz. Анализ результатов эксперимента позволил оценить погрешность метода моделирования спектральной плотности мощности фазовых шумов, составившую 3 дБ. Проанализировано влияние параметров входного и выходного умножителей частоты, а также передискретизатора выходного сигнала ЦВС на шумовые характеристики формирователя. Автором рассмотрены возможности практического применения предложенных в диссертационной работе вариантов гибридных синтезаторов и разработаны процедуры проектирования формирователей сигналов с заданными характеристиками.

Доказано, что предложенный способ повышения частоты генерируемого колебания на основе использования образов и передискретизации выходного

сигнала цифровых вычислительных синтезаторов позволяет достигнуть снижения уровня фазовых шумов на 4-5 дБ, что является его важным достоинством.

Основные положения диссертации доказаны автором в диссертации и в опубликованных им научных трудах (в 10-и статьях из перечня ВАК, в работах индексированных в наукометрической базе Scopus) и экспериментальными исследованиями. Анализ основных публикаций подтверждает полноту опубликования основных результатов диссертации в научных изданиях. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций не вызывает сомнений, т.к. они проверены теорией и практикой, непротиворечивы, апробированы автором на 15-и научно-технических конференциях.

Основные положения, выводы и результаты, полученные в диссертации, обоснованы и **достоверны**. Они подтверждаются согласованностью теоретических выводов с результатами моделирования шумовых характеристик цифровых вычислительных синтезаторов и экспериментальной проверки.

Научная новизна представленной работы состоит в развитии нового продуктивного подхода к синтезу формирователей когерентных сигналов, использующего копии спектра сигнала ЦВС для повышения выходной частоты, а также в создании и экспериментальном подтверждении математической модели спектральной плотности мощности фазовых шумов ЦВС, позволяющей моделировать шумовые характеристики формирователей когерентных сигналов.

Практическая ценность и значимость для науки и техники, представленной диссертационной работы, состоит во внедрении формирователей сигналов в разрабатываемые и модернизируемые радиосистемы в рамках НИОКР предприятия АО «Муромский завод радиоизмерительных приборов». Научно-методические результаты диссертации используются в учебном процессе кафедры радиотехники

Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» и при выполнении гранта РФФИ. Все перечисленное подтверждается актами внедрения.

Результаты диссертации открывают возможности для их **дальнейшего использования** в практических разработках при цифровом синтезе высокочастотных сигналов на соответствующих профильных предприятиях.

Качество оформления диссертации и автореферата в основном соответствует требованиям, предъявляемым к научно-исследовательским работам.

Положительные стороны работы состоят, прежде всего, в ее цельности и последовательности в получении важного результата, состоящего в снижении уровня фазовых шумов на 4-5 дБ, что является важным достоинством предложенного способа повышения частоты генерируемого колебания на основе использования образов и передискретизации выходного сигнала цифровых вычислительных синтезаторов. Положительному результату исследования во многом способствовало создание математической модели шумовых характеристик формирователей, позволившей сравнить различные варианты построения формирователя и выбрать оптимальный вариант с наименьшим уровнем фазовых шумов.

Отрицательные стороны работы (недостатки).

1. Первые два положения, выносимых на защиту изложены не вполне удачно, так как сформулированы несколько декларативно (особенно второе) и не содержат позитивного количественного результата исследования.

2. Авторский подход к анализу качественных показателей синтезаторов частот ограничивается сравнением уровней спектральной мощности фазовых шумов, в то время как такие критерии, как уровень побочных спектральных составляющих и скорость перестройки рабочей частоты не рассматриваются.

3. В качестве генератора опорной частоты не рассматривались (хотя бы обзорно) генераторы с резонаторами на ПАВ, позволяющие в соответствии с целью работы получить более высокую опорную частоту, чем кварцевые генераторы.

4. Из анализа таблицы 2.6.2 не ясно, как при одинаковом коэффициенте умножения выходного умножителя (параметре n_2) выбрать наилучший вариант частотного планирования формирователя сигналов.

5. Отсутствует описание требований к полосовому фильтру, используемому в формирователе сигналов для выделения сигналов с частотами образов (стр. 52.).

6. В работе отсутствуют сведения о том, как реализовать одновременное изменение скважности в устройстве передискретизации при изменении КЦВС или номера образа, для достижения минимального уровня фазовых шумов формирователя сигналов.

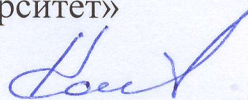
7. Имеются отдельные погрешности оформления. Так на стр. 6 отсутствует расшифровка сокращения SDMA (хотя данный термин известен и в дальнейшем расшифрован на стр. 138 в списке сокращений и условных обозначений); на стр. 56 нарушена нумерация рисунков (повторно указан номер рисунка 2.4.2).

Указанные замечания не снижают общего благоприятного впечатления о диссертационной работе Доктора А.Н., которая выполнена на высоком научно-техническом уровне и обладает теоретической и практической значимостью. На основе исследований автора, опубликованных в научных статьях, зарегистрированной программе для ЭВМ, тезисах и материалах конференций представлены новые научно обоснованные технические решения. При этом автор продемонстрировал высокую квалификацию исследователя, как в области математического моделирования, так и в области экспериментальных исследований с использованием современных измерительных приборов и элементной базы.

Заключение о соответствии диссертации критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация Доктора А.Н. представляет собой законченное научное исследование, отвечающее требованиям «Положения ВАК РФ», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Доктор Андрей Николаевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Зав. кафедрой радиотехнических систем
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет»
д-р техн. наук, проф.


08.05.2018

Виталий Иванович Кошелев
(koshelev.v.i@rsreu.ru Тел.: +7(4912) 46-03-59)

Подпись проф. В.И.Кошелева
удостоверяю.
ученый секретарь
ученого Совета РГРТУ



В.Н. Пржегорлинский

Адрес организации: 390005, Рязань, Гагарина, 59/1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный радиотехнический университет" ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ.
Тел.: +7(4912) 46-03-03 Факс: +7(4912) 92-22-15 E-mail: rgrtu@rsreu.ru