УТВЕРЖДАЮ
Зам. генерального директора
технический директор
АО «Муромский завод
радиоизмерительных приборов»
_____ А.К. Мошнин
«07» мая 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию 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»

Актуальность темы диссертации

Создание устройств формирования когерентных сигналов с низким уровнем фазовых шумов для диапазонов ультравысоких и сверхвысоких частот является актуальной и не до конца решенной задачей. К основным тенденциям развития формирователей сигналов в настоящее время можно отнести: повышение выходной частоты при уменьшении шага сетки частот, низкий уровень искажений синтезируемых сигналов и высокую скорость переключения.

Перспективным направлением является метод прямого синтеза на основе цифровых вычислительных синтезаторов (ЦВС). Однако не до конца решенным и актуальным вопросом остается проблема повышения частоты выходного сигнала данных синтезаторов. Автором проведено исследование существующих методов решения данной проблемы, выявившее их недостаточную эффективность. Использование побочных компонентов выходного сигнала ЦВС, являющихся копиями спектра основной синтезируемой частоты, может позволить решить проблему ограничения максимальной выходной частоты синтезатора и роста фазовых шумов на ней. В англоязычной литературе данные побочные компоненты спектра имеют

название images – имиджи, изображения, однако более точным вариантом перевода, передающим смысл термина, являются «образы». В настоящее время существуют некоторые виды цифро-аналоговых преобразователей, формирующих сигнал во второй и третьей зонах Найквиста, тем самым увеличить частоту синтезируемого сигнала.

Поэтому тема диссертационной работы Докторова А.Н., направленная на повышение частоты выходного сигнала цифровых вычислительных синтезаторов без ухудшения шумовых характеристик формирователей когерентных сигналов, является **актуальной**.

Научная новизна исследований

Целью диссертационной работы автор определил разработку и исследование формирователей высокочастотных когерентных сигналов, использующих копии спектра сигнала цифровых вычислительных синтезаторов.

Сформулированная цель достигается решением ряда задач, в результате которых получены следующие новые научные результаты:

- алгоритм частотного планирования формирователей когерентных сигналов, позволяющий рассчитать варианты частотного плана с учетом условия фильтрации копий спектра основной частоты выходного сигнала цифровых вычислительных синтезаторов.

- для теоретической оценки шумовых характеристик исследуемых формирователей сигналов необходимо использовать математическую модель спектральной плотности мощности фазовых шумов цифровых вычислительных синтезаторов, учитывающую изменение амплитуд копий спектра выходного сигнала от частоты.

- результаты теоретического и экспериментального исследования формирователей высокочастотных когерентных сигналов, использующих копии спектра и передискретизацию выходного сигнала цифровых вычислительных синтезаторов свидетельствующие о снижении необходимого числа транзисторных каскадов выходного умножителя частоты и показывающие возможность улучшения шумовых характеристик устройств на 4-5 дБ.

Практическая значимость полученных результатов

Практическая значимость полученных в диссертационной работе результатов заключается в том, что разработанная структурная схема формирователя когерентных сигналов, использующего копии спектра сигнала цифровых вычислительных синтезаторов для повышения выходной частоты, позволяет более чем на порядок повысить выходную частоту устройства и исключить выходные умножители частоты, либо уменьшить их количество. Разработано программное обеспечение для ЭВМ, необходимое для проведения частотного планирования данных формирователей сигналов.

Предложенная и экспериментально проверенная автором диссертации математическая модель спектральной плотности мощности фазовых шумов цифровых вычислительных синтезаторов, использующих копии спектра основной частоты, позволяет на стадии проектирования с низкой погрешностью проводить оценку спектральной плотности мощности фазовых шумов разрабатываемых устройств.

Разработан формирователь когерентных сигналов, использующий копии спектра сигнала цифровых вычислительных синтезаторов для повышения выходной частоты и обладающий меньшим на 4-5 дБ уровнем фазовых шумов по сравнению с аналогичным устройством без использования образов.

Достоверность полученных выводов и научных результатов

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждена экспериментальным исследованием спектральной плотности мощности фазовых шумов интегрального ЦВС AD9910 (производитель Analog Devices) и формирователя когерентных сигналов на его основе при применении копий спектра сигнала основной частоты.

Основные результаты диссертации опубликованы в 27 работах, в том числе 7 статьях в журналах перечня ВАК, 3 публикациях, индексированных в международной реферативной базе Scopus, 15 тезисах докладов. Автор диссертационной работы имеет 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Материалы диссертации хорошо апробированы на различных международных и всероссийских научно-технических конференциях.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы А.Н. Докторова могут быть

рекомендованы для использования в научно-исследовательских и конструкторских организациях при разработке и проектировании радиотехнических систем различного назначения, использующих цифровые вычислительные синтезаторы.

Замечания по диссертации

1. Целью диссертационной работы являлась разработка и исследование формирователей высокочастотных когерентных сигналов, но оценка когерентности формируемых сигналов в работе не выполняется.

2. Амплитуда сигнала с частотой образов цифрового вычислительного синтезатора принимает довольно низкие значения – от -10 до -40 дБ, в зависимости от номера образа *n*. Применение передискретизации выходного сигнала ЦВС позволяет ее увеличить на 6-8 дБ. Целесообразно включить в обобщенную структурную схему формирователя сигналов, показанную на рисунке 2.3.1, усилитель, позволяющий увеличить амплитуду сигнала с частотой образа до уровня, необходимого для работы выходного умножителя частоты.

3. В п.1.2 представлены структурные схемы, иллюстрирующие различные способы измерения фазовых шумов, однако из дальнейшего изложения неясно, какие из них были выбраны для экспериментальных исследований в гл. 4.

4. В п.1.4 на стр. 32 отмечена возможность выравнивания частотной характеристики ЦАП вычислительного синтезатора с помощью инверсного фильтра sinc(x), однако данный подход в работе не применяется.

5. На стр. 56 указано, что использовался идеальный аналоговый ключ, а в схемотехнической модели на рисунке 2.4.2 в качестве такого ключа показан полевой транзистор, для которого отсутствуют сведения о названии и параметрах.

6. На стр. 91 отмечается, что «теоретические и экспериментальные зависимости шумовых характеристик ГОЧ … имеют хорошее совпадение», при этом не указан критерий, по которому сравниваются зависимости.

Заключение

В целом диссертация Докторова А.Н. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, сформулированные в ней теоретические

положения и практические выводы представляют собой решение задачи повышения выходной частоты формирователей сигналов с низким уровнем фазовых шумов, содержащих в своем составе цифровые вычислительные синтезаторы, имеющей существенное значение для разработки и проектирования радиотехнических систем широкого применения.

Диссертационная работа Докторова А.Н. выполнена на высоком научном уровне, написана четким, технически грамотным языком. Качество оформления материалов диссертации хорошее. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Отмеченные недостатки не являются принципиальными и не снижают общего высокого качества работы.

Диссертационная работа соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Докторов Андрей Николаевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании научно-технического совета ОГК 07.05.2018 г.

Главный конструктор Николай Витальевич Лаптев

АО «Муромский завод
радиоизмерительных приборов»,
602267, Владимирская обл.,
г. Муром, ул. Карачаровское шоссе, 2.
Телефон: 8 (49234) 3-34-36.

Ведущий инженер,
кандидат технических наук Александр Дмитриевич Богатов

АО «Муромский завод
радиоизмерительных приборов»,
602267, Владимирская обл.,
г. Муром, ул. Карачаровское шоссе, 2.
Телефон: 8 (49234) 3-54-52.
E-mail: radio83@mail.ru