

УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель начальника  
Военной академии  
войсковой противовоздушной обороны  
Вооруженных Сил Российской Федерации  
имени Маршала Советского Союза  
А.М.Василевского  
по учебной и научной работе  
доктор технических наук, профессор  
генерал-майор  
О.Васильченко  
«28» мая 2018 г.

### ОТЗЫВ

на автореферат диссертации ЯКИМЕНКО Кирилла Александровича «Гибридные синтезаторы частот с низким уровнем фазовых шумов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

**Актуальность** темы работы обусловлена тем, что тактико-технические характеристики современных радиотехнических систем во многом зависят от качества сигналов, формируемых синтезаторами частот, входящими в состав большинства систем. Поэтому задачи понижения уровня фазовых шумов синтезаторов частот представляются интересными для практики. В этой связи **целью** диссертационного исследования являлось снижение уровня фазовых шумов гибридных синтезаторов частот, выполненных на основе фазовой автоматической подстройки частоты (ФАПЧ) и цифровых вычислительных синтезаторов (ЦВС).

Для достижения цели автором решены следующие частные **научные задачи** исследования:

1) разработаны математические модели спектральной плотности мощности фазовых шумов гибридных синтезаторов на основе ФАПЧ и ЦВС, экспериментально подтверждена их адекватность, с помощью разработанных моделей исследованы возможности снижения уровня фазовых шумов гибридных синтезаторов;

2) предложены схемы гибридных синтезаторов частот на основе ФАПЧ и ЦВС с пониженным уровнем фазовых шумов;

3) разработаны математические модели спектральной плотности мощности фазовых шумов гибридных синтезаторов с пониженным уровнем фазовых шумов, а также экспериментально подтверждена их адекватность;

4) для предложенных гибридных синтезаторов разработаны алгоритмы частотного планирования, обеспечивающие выбор параметров синтезаторов для достижения наименьшего уровня фазовых шумов выходного сигнала;

5) на основе предложенных алгоритмов автоматизировано проектирование гибридных синтезаторов частот, моделирование, сравнение и исследование их шумовых характеристик.

Для публичной защиты выдвигаются следующие **положения**:

1) разработанные и экспериментально подтвержденные математические модели шумовых характеристик гибридных синтезаторов частот на основе ФАПЧ и цифровых вычислительных синтезаторов позволяют теоретически оценивать уровень фазовых шумов таких синтезаторов для любых опорных и выходных частот;

2) применение копий спектра основной частоты цифровых вычислительных синтезаторов в гибридных синтезаторах частот позволяет уменьшить коэффициент деления в цепи обратной связи петли ФАПЧ и, тем самым, снизить уровень фазовых шумов гибридных синтезаторов на 10–18 дБ.

3) предложенные алгоритмы частотного планирования разработанных гибридных синтезаторов, позволяют определять комбинации параметров данных синтезаторов для формирования заданных выходных частот и производить выбор тех параметров, которые обеспечивают наименьший уровень фазовых шумов выходного сигнала.

**Научная новизна** выдвигаемых положений заключается в следующем:

- разработанные математические модели спектральной плотности мощности фазовых шумов гибридных синтезаторов частот на основе ФАПЧ и ЦВС, позволяют теоретически наиболее точно оценивать уровень фазовых шумов таких синтезаторов для любых опорных и выходных частот, поскольку в них учитываются шумовые характеристики цифровых вычислительных синтезаторов;

- впервые предложено использовать копии спектра основной частоты цифрового вычислительного синтезатора в гибридных синтезаторах частот с целью снижения уровня фазовых шумов и разработаны структурные схемы таких гибридных синтезаторов;

- впервые разработаны и экспериментально подтверждены математические модели спектральной плотности мощности фазовых шумов гибридных синтезаторов, использующих копии спектра основной частоты цифрового вычислительного синтезатора;

- разработаны алгоритмы частотного планирования предлагаемых гибридных синтезаторов, позволяющие определять комбинации параметров данных синтезаторов для формирования заданных выходных частот и производить выбор тех параметров, которые обеспечивают наименьший уровень фазовых шумов выходного сигнала.

**Теоретическое значение** результатов исследований обусловлено тем, что разработанные математические модели спектральной плотности мощности фазовых шумов гибридных синтезаторов позволяют на стадии проектирования провести оценку шумовых характеристик разрабатываемых устройств.

**Практическое значение работы** заключается в том, что:

- предложенная схема гетеродина на основе гибридного синтезатора, использующего копии спектра основной частоты цифрового вычислительного синтезатора, обеспечивает малый шаг перестройки частоты (доли Гц), широкий диапазон выходных частот (до 10 октав) и низкий уровень фазовых шумов (выигрыш до 18 дБ перед малошумящими гетеродинами современных анализаторов спектра);

- предложенные алгоритмы и модели шумовых характеристик использованы при разработке программного комплекса, позволяющего провести частотное планирование гибридных синтезаторов частот на основе ФАПЧ и цифровых вычислительных синтезаторов, моделирование, сравнение и исследование их шумовых характеристик.

Результаты диссертации были *апробированы* на научных конференциях (в том числе и международных) и *опубликованы* в 30 научных работах, из которых 6 статей в журналах из перечня ВАК.

Результаты диссертационной работы *внедрены* АО «Муромский завод радиоизмерительных приборов» в НИОКР при разработке формирователей сигналов радиосистем, а также внедрены в учебный процесс кафедры радиотехники Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

**Достоверность** полученных результатов подтверждается моделированием и экспериментальными исследованиями, а также наличием патента на полезную модель.

**Положительной** стороной работы является ее выраженная направленность на решение острых проблем, характерных для современной практики разработки радиотехнических систем.

Однако по содержанию автореферата можно высказать следующие **замечания**:

1) отсутствие персональных публикаций положений, выдвигаемых для публичной защиты, в рецензируемых журналах из перечня ВАК затрудняет оценку вклада автора в защищаемые положения;

2) в автореферате не указано, является ли возможным применить разработанные подходы к синтезу несинусоидальных сигналов.

Вместе с тем указанные замечания не носят принципиального характера и не оказывают влияния на научную новизну, теоретическое и практическое значение результатов работы.

**Вывод:** диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Якименко Кирилл Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Отзыв подготовил:

заместитель начальника 10 кафедры радиолокационного вооружения

доктор технических наук (20.02.25), доцент

полковник

214027, г. Смоленск, Котовского 2, ВА ВПВО ВС РФ, vavpvo-na@mil.ru

 А.Чижов

Отзыв обсужден и одобрен на заседании 10 кафедры радиолокационного вооружения 27 апреля 2018 г., протокол № 42

Врио начальника 10 кафедры радиолокационного вооружения

кандидат технических наук (20.02.25), доцент

полковник

 С.Климов

«27» апреля 2018 г.