

## Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу  
Горевского Андрея Викторовича «Маломощные источники непрерывных сигналов СВЧ для измерительной техники», представленную на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 –  
«Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

Диссертационная работа Горевского Андрея Викторовича посвящена разработке методов синтеза частоты, позволяющих улучшить электрические характеристики синтезаторов частот, снизить их энергопотребление, сложность и стоимость.

В вводной части диссертации автор обосновывает актуальность разработки, раскрывает цели и задачи исследований, приводит основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен обзор основных методов синтеза частоты, архитектур синтезаторов частот, автогенераторов ВЧ и СВЧ, типов и технических параметров резонаторов. На основании сделанного обзора сформулированы задачи диссертационной работы.

Во второй главе выведены формулы для расчета соотношений частот, передаточных и спектральных характеристик фазовых шумов в синтезаторах частот с ФАПЧ, в том числе с применением делителя частоты с сигма-дельта модуляцией для формирования опорного сигнала в синтезаторах частот с ФАПЧ с преобразованием частоты в обратной связи. Рассмотрен способ снижения фазовых шумов генераторов с применением АПЧ со стабилизирующим высокочастотным резонатором. Предложена оригинальная схема построения синтезатора частот с ФАПЧ, позволяющая получить мелкий шаг перестройки частоты и обладающая меньшим энергопотреблением по сравнению с классическим решением с использованием микросхемы прямого цифрового синтезатора.

Третья глава посвящена экспериментальным результатам, полученным в результате разработки и изготовления автором генераторов и синтезаторов частот.

**Актуальность** выполненной работы подтверждается как необходимостью разработки новых методов синтеза частот, позволяющих при умеренном росте энергопотребления и сложности значительно улучшить электрические параметры выходного сигнала, так и требованиями миниатюризации разрабатываемой аппаратуры на основе современной элементной базы, снижения ее энергопотребления и повышения быстродействия.

**Научная новизна** полученных автором результатов подтверждается разработкой новых методов синтеза частот, позволяющих уменьшить шаг перестройки по частоте и просачивание дополнительного сигнала для преобразования частоты в обратной связи синтезатора частот с ФАПЧ на выход, соответствием расчетных параметров разработанных устройств характеристикам, полученным при экспериментальных испытаниях изготовленных образцов.

**Практическая значимость** работы подтверждается созданием рабочих образцов синтезаторов частот и генераторов, обладающих рядом преимуществ перед аналогами: улучшенными массогабаритными показателями, сниженным энергопотреблением, широким диапазоном перестройки по частоте и повышенной спектральной чистотой выходного сигнала. Важным подтверждением практической значимости работы являются внедрение полученных результатов в изделия АО «НПФ «Микран».

**Апробация результатов работы** подтверждается монографией автора, статьями в журналах, включенных в перечень ведущих научных журналов, рекомендованных ВАК, патентами и докладами на научно-технических конференциях.

**Основные положения, выносимые на защиту**, в полной мере отражают суть полученных научных и практических результатов.

По выполненной работе имеются следующие замечания.

1. В диссертации на странице 6 автором утверждается, что предложенный оригинальный метод формирования опорного сигнала синтезатора частот с ФАПЧ с преобразованием частоты в обратной связи путем деления частоты выходного сигнала позволяет значительно снизить просачивание дополнительного сигнала для преобразования частоты на выход, однако в работе не приведен количественный показатель - на сколько децибел по сравнению с другими классическими решениями.

2. На странице 53 диссертации утверждается, что в синтезаторе частот с ФАПЧ с преобразованием частоты в обратной связи решение делить выходную частоту для получения опорного сигнала дает системное преимущество в виде минимальной связи между системой формирования дополнительного и выходного сигналов – исключительно через смеситель, однако в работе не указаны недостатки данного решения и не исследован переходный процесс установления сигнала выходной частоты.

3. В диссертации для широкополосного синтезатора частот с ФАПЧ с малым шагом перестройки частоты (рисунок 2.8 на странице 55) приведены аналитические выражения для расчета спектра фазовых шумов и шага перестройки частоты

выходного сигнала, однако отсутствуют расчеты уровня побочных спектральных составляющих на выходе и времени перестройки выходной частоты.

4. На страницах 67 и 68 диссертации приводится сравнение предложенного метода формирования опорного сигнала для микросхемы ФАПЧ2 (рисунок 3.8 на странице 64) в целях получения герцовой перестройки частоты с прямым цифровым синтезатором по потребляемой мощности, однако в расчете не учтен усилитель(-ли), который как правило используется между смесителем и ГУН1 для уменьшения просачивания сигнала  $F_{ref} \cdot N$  на выход.

В целом считаю, что диссертация Горегова Андрея Викторовича выполнена в полном объеме и на высоком научно-техническом уровне. Диссертация представляет собой существенный вклад в науку и практику построения генераторов и синтезаторов частот и удовлетворяет пункту 7 Положения о порядке присуждения ученых степеней (в редакции постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842). В диссертации изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – “Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения”.

Официальный оппонент

Начальник бюро по науке ООО «ЛЭМЗ-Т», к.т.н.

  
15.11.17

И. В. Скоторенко

Главный инженер ООО «ЛЭМЗ-Т»



С. В. Леденев