

ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

Филина Владимира Алексеевича

На диссертацию Никитина Юрия Александровича «Теория и применение цифроаналоговых синтезаторов частоты радиоэлектронных систем», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность исследования

Необходимость увеличения плотности информационных сигналов и их перенос в более высокочастотные области спектра заставляет применять новые, более сложные способы кодирования информации, что предъявляет более жесткие требования к колебаниям синтезаторов частоты – к формирующим трактам мощных радиопередающих устройств (к возбудителям передатчиков), и к гетеродинным трактам радиоприемных устройств – прежде всего, к гетеродинам измерительных радиоприемников и анализаторов спектра; ужесточаются требования к точности установки частоты на выходе синтезаторов, к уменьшению времени переключения при смене формируемых частот, к преемственности фазы при смене выходных частот, к минимизации помеховых составляющих колебаний – шумовых и дискретных, формируемых на их выходе.

Основная проблема цифроаналогового синтеза частот заключается в неполноте и разобщенности существующих локальных теорий, а именно – теории пассивного аналогового и пассивного цифрового синтеза частот, теории колец компенсации или возвратного гетеродинирования, теории активного синтеза частот на основе умножающих колец импульсно-фазовой автоподстройки частоты (ИФАП).

Кроме того, постоянно появляются новые структуры синтеза частот, при построении которых широко используется цифровая элементная база. Однако, информация о новых структурах фрагментарна, отсутствует единообразный математический аппарат, не используется единый подход к рассмотрению работы цифроаналоговых синтезаторов частоты разных типов, отсутствует детальная классификация известных методов синтеза частот, проводимая с единых позиций. Отсутствуют единые методики расчета спектров когерентных колебаний, формируемых цифроаналоговыми синтезаторами частоты.

Локальные теории связаны только конечной целью – формированием выходного колебания с заданным спектральным составом в заданном выходном диапазоне с заданным шагом сетки частот.

Цифроаналоговые синтезаторы частоты есть результат сочетания указанных подходов и компромиссов с целью достижения требуемого набора характеристик выходного колебания при соблюдении разумных ограничений на сложность реализации требуемых выходных параметров при использовании доступной элементной базы.

Следует отметить, что соискатель корректно сформулировал цели и задачи исследования – объединение различных подходов к анализу структур синтезаторов частоты на основе общих цифровых элементов, которыми буквально насыщены все современные синтезаторы частоты. Такими элементами являются конечные автоматы (КА).

Наличие и вид КА в архитектуре современного синтезатора частоты во многом определяет его основные выходные параметры. По широте задач, решаемых КА при синтезе частот, и по степени его влияния на параметры выходного колебания, можно сделать вывод, что автомат является важным, если не важнейшим элементом практически любого

современного цифроаналогового синтезатора частоты, независимо от того, активный это синтезатор или пассивный.

Следует отметить, что для описания работы синтезаторного КА во временной области соискатель использовал математический аппарат на основе теоретико-числовых преобразований, а именно разложение основного параметра КА – его коэффициента деления – рационального числа N в цепную дробь по алгоритму Евклида и решение соответствующего диофантова уравнения. Итогом такого подхода явилась теория оптимального КА для синтеза частот и методы формирования квазиравномерной последовательности импульсов (КРП) на выходе оптимального КА. В результате получены аналитические выражения, которые полностью описывают состояние оптимального КА в любой наперед заданный момент времени и параметры выходного колебания КА.

Кроме того, соискатель развил теорию спектрального анализа при когерентных преобразованиях частот с помощью КА на основе метода сложнопериодической решетчатой функции (СРФ), что позволило получать выражения для спектров таких колебаний в свернутом виде. Более того, в работе получена новая характеристика рационального числа N – его спектр.

В работе рассмотрено еще одно перспективное направление цифроаналогового синтеза частот – динамическое линейное управление временной задержкой импульсного сигнала в наносекундном диапазоне – достаточно сложное для анализа, поскольку активные элементы таких устройств работают в области субнаносекундных времен и в режиме большого сигнала, что существенно затрудняет анализ их работы.

Еще одно интересное и перспективное направление исследований заключается в использовании теоретико-числовых преобразований для синтеза отдельного класса синтезаторных КА, у которых в спектре выходного колебания отсутствуют самые опасные низкочастотные помеховые компоненты с частотами шага сетки. При этом подавление таких компонентов достигается чисто цифровым способом.

Научная новизна, теоретическая и практическая значимость

Научная новизна диссертационной работы состоит в предложении и развитии нового подхода к анализу и синтезу структур цифроаналоговых синтезаторов частоты, который позволил объединить в единое целое различные направления синтеза частот на основе связующего общего – теории оптимального КА.

Следует отметить, что в работе развита теория модифицированного оптимального КА – МКА. Такая модификация – дополнение оптимального КА цифроаналоговыми элементами – ЦАП и управляемым устройством задержки (УУЗ) наносекундного диапазона позволила уменьшить ошибку воспроизведения огибающей формируемого колебания по сравнению с идеальным колебанием той же формы и частоты следования. Следствием такой модификации оптимального КА является уменьшение уровня дискретных побочных спектральных составляющих (ДПСС) в спектре синтезируемого колебания.

К числу существенных научных результатов следует отнести метод формирования КРП импульсов или логических перепадов с минимальным временным отклонением от ближайших к ним импульсов идеально равномерной последовательности требуемой частоты и доказательство оптимальности таких колебаний в смысле минимума функциональной фазоимпульсной модуляции выходного потока импульсов.

Самостоятельную и важную научную ценность имеет впервые предложенный метод нониусного цифроаналогового преобразования информации, что позволило получить новое качество преобразования – резко повысить точность и(или) скорость преобразования цифрового кода управления в аналоговый параметр – напряжение или ток.

Нельзя обойти вниманием теорию линейного динамического управления временным положением импульсов на основе метода промежуточных преобразований в наносекундном и субнаносекундном диапазонах применительно к задачам широкополосного синтеза частот. Указанный подход позволяет на структурном и схемотехническом уровне увеличить точность и линейность преобразования цифрового кода управления во временную задержку импульсного сигнала.

Кроме того, необходимо отметить метод алгоритмической компенсации помех дробности в спектре выходного колебания синтезаторного кольца ИФАП. Данный метод позволяет чисто цифровым способом, используя теоретико-числовые преобразования, исключить из спектра выходного колебания кольца ИФАП самые опасные, низкочастотные помеховые компоненты, кратные частоте шага сетки и тем самым расширить полосу пропускания петлевого фильтра нижних частот.

Научная новизна результатов состоит в том, что создана общая теория цифроаналогового синтеза частот на основе конечных автоматов, которая включает в себя теорию оптимального синтезаторного КА и метод формирования на его выходе КРП импульсов, теорию модифицированного – цифроаналогового – КА и нониусный метод цифроаналогового преобразования информации, теорию спектрального анализа колебаний на выходе КА и МКА при их когерентных преобразованиях, теорию линейного динамического управления временной задержкой в наносекундном диапазоне с помощью метода промежуточных преобразований кода управления во временной интервал и алгоритмический метод компенсации помех дробности на выходе синтезаторного кольца ИФАП.

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в том, что все локальные теории и методы рассмотрены и реализованы в общей теории цифроаналогового синтеза частот на основе единого методологического подхода и единообразного математического аппарата. Полученные результаты формируют научно обоснованную основу для дальнейших исследований в области цифроаналогового синтеза частот для систем связи, радиолокации, радионавигации, прецизионных измерений и их реализации в гибридном или твердотельном исполнении.

Практическая значимость диссертационной работы состоит, прежде всего, в доведении полученных научных результатов до уровня, пригодного для их масштабирования при серийном производстве систем и устройств, содержащих в своем составе синтезаторы частоты и возможности использования таких систем и устройств в различных отраслях народного хозяйства.

Заслуживает положительной оценки и то обстоятельство, что результаты диссертационного исследования доведены до практического использования в профильных отраслевых организациях, в том числе в ФГБУ «Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М.И. Кривошеева» Санкт-Петербургский филиал – «ЛОНИИР», АО Российский институт мощного радиостроения РИМР, ООО «РАДИАН», ФГБОУ высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. Проф. М.А. Бонч-Бруевича. Наличие

актов реализации и патентных материалов подтверждает научную зрелость и прикладную востребованность полученных результатов.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и результатов, сформулированных в диссертационной работе.

Достоверность и обоснованность результатов является следствием корректного применения методов теории чисел и спектрального анализа, теории рядов, математического, структурного и схмотехнического моделирования, а также натурных экспериментов.

Полученные результаты не противоречат, но детализируют, дополняют и развивают выводы отечественных и зарубежных ученых, опубликованных в ведущих научно-технических журналах и монографиях, а также подтверждаются широким обсуждением результатов диссертации на международных и российских конференциях и реализацией в составе серийно производимой аппаратуры.

Важным достоинством диссертации является согласованность теоретических результатов, структурных решений, результатов моделирования и практической реализации в серийном производстве.

Выводы по разделам логически следуют из представленных материалов, количественные оценки имеют прикладной смысл, а предложенные решения сопоставимы с существующими подходами.

Существенно и то, что основные положения диссертации апробированы на российских и международных научно-технических конференциях, а результаты исследований отражены в значительном числе публикаций, включая статьи в изданиях их перечня ВАК и монографии.

Соискатель Никитин Ю.А. проявил высокий уровень самостоятельности и научной квалификации. В ходе выполнения диссертационной работы соискатель продемонстрировал умение формулировать и решать сложные научно-технические задачи, грамотно сочетать методы теоретического анализа, математического, структурного и схмотехнического моделирования с экспериментальной проверкой результатов, а также аргументированно представлять и интерпретировать полученные решения и результаты.

Отмечая высокую завершенность исследований, целесообразно указать на некоторые направления дальнейшего развития полученных результатов:

1. поиск структур конечных автоматов, наиболее пригодных для решения конкретных задач частотного синтеза;
2. поиск колебаний – двухуровневых и многоуровневых с наилучшим спектральным составом;
3. поиск наилучших решений для схмотехнической реализации структур модифицированных конечных автоматов – как в цифровой их части, так и в аналоговой части;
4. распространение метода сложнопериодической решетчатой функции на анализ колебаний, получаемых при квазикогерентных преобразованиях, т.е. при наличии шума;
5. Развитие спектральной теории чисел.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают научной и практической ценности диссертации.

Выводы: диссертационная работа Никитина Юрия Александровича «Теория и применение цифроаналоговых синтезаторов частоты радиоэлектронных систем» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение для развития систем связи, радиолокации, радионавигации, прецизионных измерений, которая заключается в создании общей теории цифроаналогового синтеза частот с помощью автоматов, в разработке методологических, теоретических и математических основ исследования и проектирования цифроаналоговых синтезаторов частоты для возбuditелей мощных радиопередающих устройств и гетеродинов высокочувствительных радиоприёмных устройств с большим динамическим диапазоном – для повышения их эффективности и качества.

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения по пунктам 1, 3, 4, 5, 7, 8, а по своему содержанию, научной новизне, теоретической и практической значимости, степени обоснованности и достоверности полученных результатов отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, в том числе требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842.

Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертационной работы.

Считаю, что Никитин Юрий Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

05.05.2026

Научный консультант,
профессор СПбГУТ,
доктор технических наук, профессор




завещаю
А.Д. Смородицева 12.05.2026

В.А. Филин

Организация - место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», web-сайт организации: sut.ru.
Почтовый адрес: 193232, г. Санкт-Петербург, проспект Большевиков, д. 22, корп. 1
Телефон: +7 (812) 326-31-63
Адрес электронной почты: rector@sut.ru