

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Бычкова Михаила Сергеевича «Расширение динамического диапазона МШУ и смесителей на основе ячейки Джильберта», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 — Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

### Актуальность темы диссертации.

В основе современных систем связи лежит элементная база в виде интегральных микросхем с большой и сверхбольшой степенью интеграции. Развитие полупроводниковых технологий, заключающиеся в уменьшении проектных норм, позволяет увеличить количество элементов на единицу кремневой подложки и диапазон рабочих частот, а также уменьшить ток потребления. Кроме отмеченных достоинств это приводит к уменьшению напряжений пробоя транзисторов в следствии чего уменьшается допустимое напряжение питания микросхем. Последнее порождает проблему обеспечения требуемой верхней границы динамического диапазона разрабатываемого устройства за счет ограничения линейности по выходу. Наиболее острой эта проблема становится для входных блоков приемника (МШУ и первого смесителя), где требуется получить высокую линейность при жестком ограничении на величину коэффициента шума. Применяемые при разработке интегральных блоков методы увеличения линейности, такие как компенсация нелинейных искажений и отрицательная обратная связь, давно известны и новые схемотехнические решения предлагаются редко. Поэтому поиск новых эффективных методов расширения динамического диапазона остается актуальной задачей радиотехники.

Эход. № 222/18  
« 28 » 12 2018  
И.И.И.И.

## Характеристики содержания диссертационной работы.

Представленная соискателем диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы, включающего 96 наименований, и восьми приложений. Полный объем диссертации составляет 260 страниц в двух томах, основная часть содержит 151 страницу текста с 69 рисунками. Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные решаемые задачи, изложены положения, выносимые на защиту.

В первом разделе выполнен обзор литературы, касающийся методов расширения динамического диапазона. Проведена оценка динамического диапазона современных интегральных МШУ и смесителей. Показано, что при их построении используются два метода увеличения линейности: компенсации нелинейных искажений и отрицательная обратная связь. Проведено исследование современного состояния структурного метода увеличения линейности. Сделаны выводы, среди которых можно выделить следующие:

- отсутствие опыта применения структурного метода при разработке интегральных МШУ и смесителей;
- для получения приемлемых на практике значений тока потребления и коэффициента шума при построении устройств с помощью структурного метода необходим переход к базовым элементам в виде простейших каскадов;
- ключевым элементом структурных схем являются выходные сумматоры, поэтому решение задачи перехода к базовым элементам в виде простейших каскадов необходимо начинать с поиска схемотехнического решения сумматоров.

Второй раздел посвящен постановке задачи сравнительного анализа и выбору схемы МШУ, которая в дальнейшем была использована в качестве базового элемента при реализации структурных схем усилителей. Проведен анализ линейных свойств дифференциального каскада и двух вариантов его линеаризации. Исследованы динамический диапазон и схемотехнические

решения в схемах МШУ с широкополосным согласованием по входу, что позволило сформировать две библиотеки элементов структурных схем в виде простейших каскадов: сумматоров и базовых элементов. Используя эти библиотеки, особенности построения структурных схем с нулевой чувствительностью, а также то обстоятельство, что ячейку Джильберта можно представить как отдельный элемент структурной схемы, был разработан метод реализации усилителей и смесителей. Приведено несколько примеров реализации.

Третий и четвертый разделы посвящены сравнительному анализу интегральных МШУ и смесителей на основе ячейки Джильберта. Сформировано множество допустимых структурных схем, получены условия компенсации нелинейных искажений и выражения коэффициентов передачи и шума. Проведена реализация отобранных структурных схем с использованием базовых элементов двух типов. Глава завершается проведением сравнительного анализа с помощью алгоритма многокритериального выбора и набора показателей качества, полученного в результате моделирования реализованных схем. Показано, что полученные в с помощью структурного метода увеличения линейности схемы МШУ и смесителей по комплексу параметров не хуже чем лучшие схемы на основе методов компенсации и отрицательной обратной связи.

Пятый раздел посвящен описанию результатов исследований автора, внедренных в производство. В частности, на основе теоретических исследований автора были разработаны входные блоки приемного тракта в СБИС К5200МХ014 и блок активного смесителя микросхемы 1327НС015 (преобразователя частоты УВЧ - диапазона со встроенным синтезатором).

## **Научная ценность и новизна.**

Все полученные в диссертации соискателя результаты являются новыми. Среди полученных результатов на наш взгляд наиболее важными являются следующие:

1. Предложен метод реализации структурных схем с нулевой чувствительностью на основе базового элемента в виде простейшего каскада, позволяющий по сравнению с традиционным подходом получать при реализации известных структурных схем новые простые принципиальные электрические схемы МШУ и смесителей;

2. Приведены новые схемные решения МШУ, полученные в результате использования предложенного метода реализации структурных схем с нулевой чувствительностью, отличающиеся от известных тем, что кроме расширенного динамического диапазона обладают пониженной чувствительностью к изменениям условий внешней среды;

3. Приведены новые схемные решения смесителей на основе ячейки Джилберта, полученные в результате реализации структурных схем с нулевой чувствительностью, отличающиеся от известных тем, что кроме расширенного динамического диапазона обладают пониженной чувствительностью к изменениям условий внешней среды.

## **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность.**

Достоверность выводов и результатов диссертационной работы основаны на используемых общепринятых теоретических подходах, результатах численного моделирования. При решении задачи сравнительного анализа использован один из методов многокритериального выбора, позволивший

исключить влияние субъекта анализа на результаты. Результаты проектирования микросхем подтверждены экспериментальными данными.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанные метод реализации структурных схем с нулевой чувствительностью на основе базового элемента в виде простейшего каскада позволяет получить новые схемные решения МШУ и смесителей на основе ячейки Джилберта с расширенным динамическим диапазоном.

### **Недостатки и замечания в работе.**

1. В работе не достаточно полно объясняется механизм компенсации в схемах МШУ с широкополосным согласованием по входу, в частности не показано как обеспечивается положительный коэффициент передачи полезного сигнала.

2. Во втором разделе получены выражения условий компенсации для двух схем дифференциальных каскадов (уравнения 2.4 - 2.7 ) — не ясно: они были получены впервые или нет.

3. Требуется пояснения почему структурные схемы смесителей реализовывались только один раз. В разделе посвященном исследованию малошумящих усилителей каждая структурная схема усилителей реализовывались несколько раз.

4. В разделе "Актуальность" некорректно используется термин шум переключения . Есть термин перекрестные помехи, есть разные виды шумов. Смешивать эти понятия нельзя.

5. В качестве новизны отмечены новые схемные решения малошумящих усилителей и смесителей обладающие расширенным динамическим диапазоном и пониженной чувствительностью к изменениям условий внешней среды. Термин изменениям "условий внешней среды" слишком широк и требует уточнения.

## **Заключение.**

В целом диссертационная работа представляет собой серьезное исследование, выполненное на высоком научном уровне. В ней получен ряд новых важных результатов по решению задачи расширения динамического диапазона малошумящих усилителей и активных смесителей. Основные научные результаты диссертации отражены в 19 публикациях соискателя, в том числе 5 из перечня изданий, рекомендуемых ВАК при Минобрнауки России и 4 патента на полезные модели.

Диссертация М. С. Бычкова является научной работой, свидетельствующей о высокой квалификации автора. Диссертация изложена технически грамотным языком, каждый раздел сопровождается выводами. По характеру поставленных задач, методам их решения и полученным результатам диссертация полностью соответствует заявленной специальности. Научные положения и выводы диссертации обоснованы и подтверждены соответствующими исследованиями. Автореферат полностью отражает содержание диссертации и основных ее результатов.

Рассмотренная диссертация обладает высокой научной ценностью в области радиотехники, отвечает специальности 05.12.04 — Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения (технические науки) и имеет важное значение для практических применений в электронике. Считаю, что диссертационная работа Бычкова Михаила Сергеевича удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям согласно пп. 9-14 Положения ВАК о присуждении ученых степеней (утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 — Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент

Доктор технических наук

по специальности 05.27.01 Твердотельная электроника , радиоэлектронные компоненты, микро и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах,  
профессор Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»



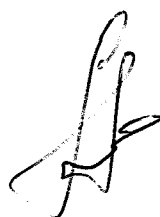
Тимошенко Валерий Петрович

28.12.2018

Подпись Тимошенко В.П. удостоверяю

ученой секретарь МИЭТ

к.т.н. профессор



Н.М.Ларионов

Реквизиты Тимошенко Валерия Петровича:

124498, Россия, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1.

Телефон :+7(499)-720-8724

e-mail: valeri04@hotmail.com