

ОТЗЫВ

официального оппонента Иванюшкина Романа Юрьевича
на диссертацию Бычкова Михаила Сергеевича на тему: «Расширение динамического диапазона МШУ и смесителей на основе ячейки Джилльберта»,
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 — «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Актуальность темы исследования. Расширение динамического диапазона радиоприемного тракта является важной и актуальной задачей для многих приложений радиосвязи. В первую очередь это касается разнообразных систем мобильной связи и радиодоступа, где при перемещениях абонента уровни входных сигналов радиоприемника изменяются в очень широких пределах. В таких радиоприемных устройствах требуется обеспечивать большой динамический диапазон, одновременно с достаточно жесткими требованиями к собственным шумам линейного радиотракта.

Хорошо известно, что динамический диапазон радиоприемного тракта ограничен, в первую очередь, свойствами каскадов входных радиочастотных малошумящих усилителей, а также смесительными каскадами узла преобразования частоты, в следствие нелинейной природы процесса такого преобразования. С другой стороны, поскольку, на сегодняшний день радиоприемные тракты реализуются исключительно в микроэлектронном исполнении, их схемотехника не может не учитывать технологические особенности производства микросхем.

Поскольку динамический диапазон усилителей и смесителей, в первую очередь определяется линейностью их амплитудно-амплитудной характеристики, задача расширения динамического диапазона чаще всего сводится к задаче линеаризации. В настоящее время, в отличие от каскадов усиления мощности радиопередатчиков (линеаризация которых сегодня, по большей части, осуществляется методами адаптивной предкоррекции), линеаризация усилительных и частото-преобразовательных каскадов радиоприемного тракта, как правило осуществляется путем введения отрицательной обратной связи, что может приводить к существенному снижению их устойчивости, особенно учитывая достаточно высокие рабочие радиочастоты современных радиосредств.

Таким образом, задачи, решаемые в диссертации являются важными, актуальными и современными.

Научная новизна диссертации заключается в разработке ряда новых схемотехнических решений для МШУ и смесителей Гильберта с линеаризацией на основе принципа «связь вперед», применительно к интегральному исполнению.

Теоретическая значимость работы состоит в дальнейшем развитии метода линеаризации на основе принципа «связь вперед» и некоторых других автокомпенсационных структур, применительно не только к усилителям, но и к смесителям. Также в диссертации подтверждено, что такой способ

224/18
28.12.18

линеаризации обладает преимуществом перед рядом других, относительно исследуемых в работе прикладных задач.

Практическая значимость работы состоит в разработке и внедрении в разрабатываемые интегральные микросхемы ряда новых схемотехнических решений для узлов МШУ и смесителей, обладающих существенным расширением динамического диапазона.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается, как результатами компьютерного схемотехнического моделирования на основе общепризнанных современных программных средств, так и результатами натурального эксперимента с образцами новых опытных интегральных микросхем, при разработке которых использованы результаты, полученные автором в диссертации.

В первом разделе диссертации проводится сравнительный анализ известных методов расширения динамического диапазона усилителей и смесителей, а также приводится подробный обзор возможностей существующих интегральных МШУ и смесителей, по критерию динамического диапазона и некоторым другим.

Второй раздел диссертации посвящен подробному анализу нескольких схемотехнических единиц, на основе которых предполагается строить тракты МШУ и смесителей Гильберта с линеаризацией на основе принципа «связь вперед» и других решений с самокомпенсацией нелинейностей без введения обратной связи. В качестве таких единиц анализируются как простейшие каскады, так и более сложные схемотехнические решения радиочастотных усилителей и смесителей. Также приведены теоретические количественные оценки нелинейности и шумовых характеристик рассматриваемых схемотехнических решений, как по критерию нелинейных искажений, так и по критерию коэффициента шума, в зависимости от величины коэффициента передачи канала компенсации.

Третий раздел диссертации посвящен синтезу структур МШУ с линеаризацией на основе исследуемых в диссертации подходов, а затем, на их основе — синтезу множества возможных схемотехнических решений. Затем, методом усечения множества, согласно выработанным автором критическим критериям, производится отбор рекомендуемых для практического применения принципиальных схем МШУ. Отобранные решения сравниваются по критическим показателям качества, значения которых получены путем компьютерного схемотехнического моделирования.

Четвертый раздел диссертации посвящен синтезу структур смесителей Гильберта с линеаризацией на основе исследуемых в диссертации подходов. Аналогично исследованиям, проведенным в третьем разделе, здесь также осуществляется синтез множества возможных схемотехнических решений с последующим его усечением по критерию достижения ряда критических показателей качества. Аналогичным образом, количественные значения данных показателей получены путем компьютерного схемотехнического моделирования.

В пятом разделе диссертации осуществляется сравнение качественных

характеристик предлагаемых схемотехнических решений, полученных методом компьютерного схемотехнического моделирования (в третьем и четвертом разделах диссертации соответственно) с результатами натурального эксперимента, проведенного на опытных образцах интегральных микросхем, при разработке которых использованы предложенные автором решения, относительно реализации узлов МШУ и смесителей с линеаризацией на основе исследуемых в диссертации подходов.

Замечания по диссертации:

- 1) В диссертации принимается, что к «структурному» методу линеаризации относятся лишь разновидности реализации принципа «связь вперед» и другие решения с компенсацией нелинейных искажений без подачи выходных сигналов во входные цепи. При этом, совершенно не рассматривается принцип «связь назад», подразумевающей компенсацию искажений по методу корректирующей обратной связи (в том числе по квадратурным составляющим сигнала), не являющейся непосредственно схемотехнической обратной связью, а являющейся таким же «структурным» решением, как и принцип «связь вперед». Необходимые требования к запасу по устойчивости и иным критериям, снижающим целесообразность применения таких решений, применительно к рассматриваемым задачам не оцениваются и не приводятся.
- 2) Утверждением о том, что на частотах, превышающих в несколько раз f_{β} , можно полностью пренебречь инерционностью биполярного транзистора являются весьма спорными, не говоря уже об утверждении о том, что это справедливо также на частотах $f_{\text{РАБ}} > 4f_{\beta}$, как указано в работе.
- 3) При обсуждении причин нелинейных искажений уделяется внимание только нелинейности амплитудно-амплитудных характеристик, в то время как неравномерность фазо-амплитудных характеристик, как и амплитудно-фазовая конверсия в целом, не рассматриваются и даже не упоминаются вовсе.
- 4) В разных местах диссертационной работы (например, на стр. 33 и стр. 74) употребляется термин «оптимальный», однако, ни критериальная функция, ни методы оптимизации не формулируются вовсе, что ставит под сомнение правомерность употребления этого термина. Не менее сомнительным является критерий «удачливость выбора» на стр. 108 и далее, научная строгость и обоснованность которого вызывает серьезные вопросы. Кроме того, имеющийся в тексте термин «интермодуляционные гармоники» на стр. 13 является заведомо ошибочным.
- 5) В пятом разделе диссертации не приводятся количественных оценок расхождений между результатами компьютерного схемотехнического моделирования и натурального эксперимента, а приведены лишь графические зависимости сопоставляемых показателей качества исследуемых устройств, что затрудняет оценку результатов сравнения.

Общая оценка диссертации. Несмотря на обозначенные выше замечания и недостатки, считаю, что диссертационная работа является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную тему. Исследуемые в

диссертации задачи решены с использованием, как аналитических методов, так и с применением современных профессиональных средств компьютерного схемотехнического моделирования, а также подтверждены результатами натурального эксперимента. Предлагаемые в работе новые результаты в виде схемотехнических решений МШУ и смесителей с увеличенным динамическим диапазоном полезны для практического применения и, судя по имеющемуся акту внедрения, в настоящее время уже используются в производстве.

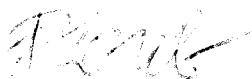
Автореферат диссертации, в целом, правильно отражает содержание основных положений диссертации, исключая пятую главу, представленную, по сути, лишь одним абзацем. В то же время, следует отметить, что объем автореферата завышен практически в два раза, по сравнению с рекомендуемым для кандидатских диссертаций.

Публикации автора. По теме диссертации соискателем опубликовано 19 печатных работ, включая три статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендуемых перечнем ВАК, а также четыре патента. Публикаций и патенты автора позволяет сделать вывод о том, что основные результаты, полученные в диссертации, в достаточной степени полно отражены в открытых источниках.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней. Считаю, что диссертация отвечает критериям Положения ВАК РФ о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук. Задачи, решенные в диссертации, соответствуют областям исследований, указанным в пунктах 3 и 7 Паспорта научной специальности 05.12.04 — «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения». Считаю, что автор диссертации Бычков Михаил Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 — «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент:

кандидат технических наук, доцент кафедры радиоборудования и схемотехники Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»



Иванюшкин Роман Юрьевич

Адрес: 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 8а.,
телефон: +7 495 957-79-17, e-mail: mtuci@mtuci.ru

Подпись к.т.н. доцента Р.Ю. Иванюшкина *удостоверено*

Ученый секретарь Ученого совета университета



Т.В. Зотова
7. 2. 2018