

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Шутова Владимира Дмитриевича «Линеаризация СВЧ усилителей мощности методом цифровых предыскажений», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – Радиофизика, 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации

В современных системах связи широко применяют сигналы с различной амплитудно-фазовой модуляцией, повышающей спектральную эффективность передачи данных. Например, ограниченность частотных ресурсов и всевозрастающий спрос на новые услуги привели к тому, что тенденции развития систем мобильной связи неизбежно ориентируются на системы мобильной связи третьего поколения (3G) и последующих поколений (В3G, 4G, 5G). Для получения необходимой полосы пропускания сигналов в существующих системах широко используются системы цифровой модуляции с переменной огибающей. Применение данной технологии модуляции не только облегчает прием высокоскоростных сигналов, но и подразумевает более жесткие требования к линейности передатчика базовой станции, содержащего усилитель мощности. В этой связи решаемая в диссертации В. Д. Шутова *задача* развития одного из наиболее эффективных методов увеличения линейности передающего тракта, метода цифровых предыскажений, является *актуальной*.

Диссертация В. Д. Шутова имеет традиционную структуру и состоит из введения, в котором изложены цель работы, ее научная новизна и основные положения, выносимые на защиту, четырех глав, заключения и списка литературы из 111 наименований. Работа изложена на 146 страницах, включает 66 рисунков и 4 таблицы.

В первой главе описаны основные нелинейные эффекты и физика их возникновения. При этом особое внимание уделено искажениям сигналов с многопозиционной цифровой модуляцией. Приведен краткий

обзор существующих техник и методов, направленных на уменьшение внеполосного искажения. Подробно проанализирован метод цифровых предискажений, а именно рассмотрены: принципиальная схема системы с предискажениями, типы цифровых корректоров на основе таблиц соответствия и на основе бесструктурных моделей в виде «черного ящика». В последнем пункте главы изложена оригинальная идея, адаптирующая и упрощающая реализацию метода цифровых предискажений для систем связи с ППРЧ. Стоит отметить, что оригинальность идеи и принципиальных схем, приведенных в четвертом пункте первой главы, подтверждается патентом РФ на полезную модель.

Во второй главе подробно рассмотрены табличные корректоры, расписан алгоритм определения коэффициентов, сделан аналитический обзор поведенческих моделей. Подробно изложен метод идентификации поведенческих моделей на основе метода наименьших квадратов. В четвертом пункте второй главы выведены новые соотношения для адаптации параметров корректора на основе бесструктурных моделей. В качестве алгоритмов адаптации использовались метод стохастического градиента и рекурсивного метода наименьших квадратов. Рассмотренные в главе задачи и полученные результаты соответствуют разделу «Области исследований» паспорта научной специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации» в части п. 6 и п. 7.

В третьей главе приведены результаты компьютерного моделирования. Для корректоров на основе таблиц соответствия промоделирована адаптивная система предискажений, позволившая уменьшить уровень внеполосного излучения на 20 дБ. Проведен сравнительный анализ цифровых корректоров на основе поведенческих моделей с точки зрения эффективности линеаризации и сложности программной реализации. В конце главы приведены результаты идентификации корректоров, подтвердившие корректность рекурсивных соотношений, выведенных во второй главе.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований. Показана эффективность идеи, рассмотренной в первой главе, для системы связи с ППРЧ и двойным преобразованием частоты.

Также предложен ряд мер, которые позволили уменьшить сложность аппаратной реализации.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты работы.

Достоверность и обоснованность результатов диссертации определяются корректностью использования математического аппарата, подтверждением аналитических выкладок компьютерным экспериментом.

Новизна и оригинальность полученных в работе результатов подтверждены четырьмя публикациями в журналах из перечня ВАК, а также апробацией на достаточно большом числе профильных научно-технических конференций.

Основными результатами следует считать: выполнена модификация структуры цифрового корректора; в отличие от большинства известных работ по бесструктурному моделированию проанализировано влияние ширины полосы сигнала и его средней мощности на выбор оптимальной структуры модели, как усилителя мощности, так и цифрового корректора для него; выработан необходимый набор требований, которых необходимо придерживаться при построении передающего тракта с цифровыми предсказаниями.

Значимость работы состоит в расширении области применения эффективного метода линеаризации передающих трактов различных систем связи.

Диссертация В. Д. Шутова написана четким и ясным языком. Автореферат в целом корректно отражает содержание диссертации, а ее основные результаты достаточно полно опубликованы в научной печати. Вместе с тем, диссертационная работа В. Д. Шутова не лишена недостатков:

1. В работе исследования проводились для сигналов с амплитудно-фазовой модуляцией и одной несущей. В настоящее время в телекоммуникации большое место занимают сигналы с несколькими несущими. Следовало бы указать возможность применения предложенного метода для таких сигналов и оценить его эффективность.

2. Не совсем ясно, какая процедура применялась для нахождения псевдообратных матриц в третьей главе.

3. Важное место в работе занимает численное моделирование, однако анализ оценок погрешностей используемых методов и вычислений не проводится.

4. В тексте диссертации имеются опечатки и небрежности в оформлении.

Однако отмеченные недостатки носят частный характер и не снижают научной и практической ценности диссертации. Диссертационная работа «Линеаризация СВЧ усилителей мощности методом цифровых предсказаний» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, ее содержание соответствует специальностям 01.04.03 – «Радиофизика» и 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации», а Шутов Владимир Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

заместитель начальника организационно-научного и редакционного отдела ФКОУ ВО Воронежский институт Федеральной службы исполнения наказаний России, кандидат физико-математических наук, доцент



Куцов Руслан Владимирович

Подпись Куцова Р.В. заверяю
Начальник отдела кадров ФКОУ ВО
Воронежский институт ФСИН России



А. А. Шкуменов

Почтовый адрес: 394072, Россия, г. Воронеж, ул. Иркутская, 1а,
организационно-научный и редакционный отдел.
Телефон: +7 (473) 260-68-09, e-mail: vifsin@mail.ru.