

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе ФГАОУ ВО

«Волгоградский государственный университет»



С.А. Корольков

« 1 » февраля 2016г.

О Т З Ы В

ведущей организации

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

Актуальность темы.

Усовершенствование технологий линеаризации выходных усилителей мощности является актуальной задачей для систем связи с цифровой модуляцией и изменяющейся огибающей высокочастотного сигнала. Это связано с жесткими ограничениями на ширину спектра излучаемого сигнала современных мобильных стандартов радиосвязи. Особенно эта проблема важна для передатчиков широкополосных стандартов радиосвязи, например, таких как CDMA (множественный доступ с кодовым разделением каналов) и WCDMA (широкополосный множественный доступ с кодовым разделением каналов), где пик-фактор составляет 3 - 12 дБ. Высокие требования к линейности характеристик передающего тракта обусловлены наличием строгих ограничений на уровень внеполосного излучения передаваемого сигнала. Кроме того, усиление многоканальных сигналов требует линейности усилителя мощности, чтобы избежать паразитной кросс-модуляции. Отмеченные факторы повышают вероятность ошибок на приемной стороне. В настоящее время минимизация искажений за счет нелинейности

достигается в основном за счет использования усилителей мощности класса А, работающих в линейном режиме в области смещений, далеких от насыщения. Однако эти усилители обладают низкой энергоэффективностью (порядка 5-10%) преобразования потребляемой мощности в выходную, что весьма неэкономично как для современных базовых станций, так и для мобильных терминалов. Выходом из этого положения является использование систем линеаризации, позволяющих создавать линейные передающие устройства, имеющие высокий КПД, характерный для нелинейных усилителей мощности. В этой связи диссертация В.Д. Шутова, посвященная развитию метода цифровых предскажений, является актуальной.

Общая характеристика работы.

Диссертационная работа Шутова В.Д. выполнена в Воронежском государственном университете на кафедре электроники. Диссертация состоит из введения, в котором изложены цель работы, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту, четырех глав, заключения и списка литературы из 111 наименований. Работа изложена на 146 страницах, включая 66 рисунков и 4 таблицы. В целом работа по содержанию, оформлению и объёму соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Основные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в 18 печатных работах, включая 4 статьи в периодических изданиях, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертационных работ и патент на полезную модель. Основные положения диссертационной работы докладывались на 9 международных и всероссийских научно-технических конференциях и симпозиумах.

Наиболее значимыми научными результатами, полученными автором, на наш взгляд, являются:

- модификация цифрового корректора для применения метода цифровых предскажений в системах связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ);

- критерии и рекомендации по определению структур корректора с учетом сложности его программно-аппаратной реализации;

- итерационные соотношения, описывающие адаптивное изменение коэффициентов цифрового корректора в соответствии с методом стохастического градиента и рекурсивным методом наименьших квадратов;
- исследованные зависимости эффективности линеаризации с помощью корректоров, построенных на основе бесструктурных моделей, от их параметров и параметров используемого сигнала;
- экспериментальное подтверждение эффективности предложенной структуры для систем с ППРЧ и ее дальнейшая модификация с целью уменьшения числа параметров.

Достоверность и обоснованность результатов работы.

Обоснованность научных положений и выводов диссертации основывается на корректном применении методов теории автоматического регулирования, цифровой обработки сигналов, доказанных ранее и проверенных практикой, а также на строгости принятых допущений и ограничений.

Достоверность полученных результатов и выводов диссертации, степень адекватности предложенных методов и алгоритмов подтверждается физической аргументированностью и математической корректностью постановки исследуемых вопросов, проведенными экспериментальными исследованиями и компьютерным моделированием, а также получением работоспособных алгоритмов.

Научная и практическая значимость полученных результатов.

Результаты, приведенные в диссертации, позволяют в полной мере оценить эффективность бесструктурных моделей для задачи компьютерного моделирования нелинейных динамических систем. Частным примером таких систем являются рассмотренные в рамках работы усилители мощности и цифровые корректоры.

В работе сформулирован необходимый набор требований, основанных как на теоретических, так и экспериментальных исследованиях, которые необходимо удовлетворять при построении передающего тракта с цифровыми предсказаниями.

Разработанный автоматизированный комплекс позволяет ускорить процесс построения модели передающего тракта и цифрового корректора.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы.

Судя по тексту диссертации (стр.9) и автореферату, полученные в работе результаты использовались в научно-исследовательских работах АО «Концерн «Созвездие» (г. Воронеж).

Результаты диссертационной работы могут быть также рекомендованы к использованию на предприятиях и в организациях: ФГУП «Ростовский-на-Дону НИИ радиосвязи» (г. Ростов-на-Дону), ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет» (г. Воронеж), ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет» (г. Воронеж), ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» (г. Рязань), СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (г. Санкт-Петербург), ОАО «ВНИИ «Вега» (г. Воронеж) и других научных и учебных организациях аналогичного профиля деятельности.

Замечания по работе.

- Из текста работы не ясно, какие ограничения накладываются на характеристики усилителя мощности при применении метода цифровых предсказаний.
- В работе не проведен анализ устойчивости работы метода цифровых предсказаний, которая может быть потеряна за счет естественной задержки в цепях обратной связи.
- В четвертой главе, посвященной экспериментальным исследованиям, не приведены значения КПД исследуемой системы с предсказаниями и без них, хотя он является одним из основных параметров передающего тракта.
- В соотношениях 1.3-1.6 не обозначена зависимость левой части ($v_{вых}$) от времени.
- На стр.9 отмечается, что «основные результаты ... использовались в научно-исследовательских работах АО «Концерн «Созвездие» и в учебном процессе Воронежского государственного университета», однако не указано, какие именно.
- Отсутствуют сравнения эффективности метода цифровых предсказаний с другими методами линеаризации (как для

компьютерного моделирования, так и для экспериментального исследования).

- Подрисуночная подпись рис.1.7 на стр.23 «**Принципиальная** схема усилителя...» не совпадает с описанием в тексте: «**базовая структурная** схема усилителя...» (стр.24).
- Вряд ли стоит дополнять терминологию термином «амплитудно-амплитудная характеристика», когда есть термин «Амплитудная характеристика» - зависимость установившегося значения выходного напряжения от входного [Радиотехника: Энциклопедия – М: Додэка-XXI, 2002. - С. 746].
- В представленном экземпляре диссертации текст недостаточно вычитан (орфографические ошибки: "ученный" на стр.6; пропуски слов: "наилучшие дает корректор" на стр.106; номера рисунков и подрисуночные подписи не разделены точками; отсутствуют пробелы между словами и символами - стр. 13,18,24,26,30,34,52,66,85 и др.) и не лишен жаргона: «...типа корень из приподнятого косинуса» (стр.119).

Приведенные замечания не ставят под сомнение основные результаты диссертационной работы и не влияют на ее общую положительную оценку.

Заключение.

Оценивая диссертацию В.Д. Шутова в целом, ее можно классифицировать как законченную научно-квалификационную работу, содержащую ряд новых положений, связанных с решением задачи повышения линейности передающего тракта за счет совершенствования методов цифровых предсказаний, выполненную автором на должном уровне. Содержание диссертации соответствует специальностям 01.04.03 и 05.13.01. Автореферат полностью отражает содержание диссертации и её основные положения и выводы.

Диссертационная работа Шутова Владимира Дмитриевича «Линеаризация СВЧ усилителей мощности методом цифровых предсказаний» соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата

физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – «Радиофизика» и 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации».

Диссертационная работа Шутова В.Д. обсуждена на заседании кафедры Радиофизики Волгоградского государственного университета (протокол № 1 от 25 января 2016 г.).

Заведующий кафедрой Радиофизики
к.ф.-м.н., доцент



А.Л. Якимец

Профессор кафедры Радиофизики
д.т.н., профессор



В.Д. Захарченко

Почтовый адрес: 400062, Волгоград, Богданова 32, ФТИ ВолГУ

Рабочий телефон: (8442) 46-08-10

Адрес электронной почты: rf@volsu.ru