

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.375.026-048.64

Оболешев
Алексей Сергеевич

ЦИФРОВЫЕ СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В
УСИЛИТЕЛЬНЫХ ТРАКТАХ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-39 80 01 «Радиосистемы и радиотехнологии»

Научный руководитель
Забеньков Игорь Иванович
д-р т.н., профессор

Минск 2021

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Для повышения спектральной эффективности современных беспроводных систем связи применяют сигналы с различной амплитудно-фазовой модуляцией. Значительное изменение уровня огибающей данных сигналов в совокупности с нелинейными свойствами усилителя мощности (УМ) служат причиной множества внутри- и внеполосных помех, которые искажают сигнал и ухудшают передачу по соседним каналам. Обеспечение высокой энергетической эффективности является крайне важным требованием, предъявляемым к усилителю мощности, так как при этом минимизируется потребляемая мощность от источников питания, снижаются расходы на энергопотребление. Главная проблема состоит в том, что высокая энергоэффективность усилителя достигается лишь в нелинейных режимах его работы, что приводит к высоким уровням нелинейных искажений передаваемого сигнала.

Одним из наиболее эффективных методов уменьшения нелинейных искажений является метод цифровых предусказаний, который позволяет добиться значительного уменьшения внеполосного излучения при сохранении высокой энергоэффективности передающей системы, и обладает при этом большой гибкостью.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является увеличение линейности усилительного тракта за счет использования цифровых методов коррекции.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– проанализировать существующие методы линеаризации усилителей мощности;

– произвести сравнительный анализ математических моделей УМ и цифровых корректоров, способов их идентификации, возможные методы адаптации;

– синтезировать и затем смоделировать с помощью программных средств схему УМ и корректора;

– на основании данных, полученных в ходе моделирования, сделать выводы об эффективности применения данного способа снижения нелинейных искажений.

Объект исследования – нелинейные искажения, вносимые усилительными трактами.

Предмет исследования – цифровые методы линеаризации усилителей мощности.

Личный вклад соискателя

Результаты, приведенные в диссертации, получены соискателем лично. Вклад научного руководителя И.И. Забенькова заключается в формулировке целей и задач исследования, обеспечения теоретической базы в области цифровых предуслаждений, методов линеаризации.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций соискателя и приложения.

В первой главе рассмотрены источники нелинейных искажений, а также основные методы линеаризации УМ.

Вторая глава посвящена математическим моделям УМ.

Третья глава описывает алгоритмы идентификации и адаптации цифровых корректоров.

В четвертой главе проводится синтез структуры усилителя мощности и корректора, а также приведены результаты компьютерного моделирования.

Общий объем работы составляет 69 страниц, из которых основного текста – 50 страниц, 33 рисунка на 11 страницах, 1 таблица на 1 странице, список использованных источников из 56 наименований на 5 страницах и 1 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** определена область и указаны основные направления исследования, показана актуальность темы диссертационной работы, дана краткая характеристика исследуемых вопросов.

В **первой главе** исследованы основные источники нелинейных искажений усилителей мощности, в том числе для гармонических и многопозиционных сигналов. Проведен сопоставительный анализ существующих методов линеаризации УМ, в ходе которого установлено превосходство метода цифровых предсказаний над остальными.

Во **второй главе** рассматриваются математические модели УМ, приводятся их преимущества и недостатки, на основании чего выбирается модель для последующего моделирования.

В **третьей главе** рассматриваются алгоритмы идентификации и адаптации цифровых устройств внесения предсказаний. В ходе сравнительного анализа выбираются алгоритмы для дальнейшего исследования.

В **четвертой главе** описывается процесс синтеза схем УМ и цифрового корректора, приведены результаты компьютерного моделирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работе были проведены теоретические исследования, а также экспериментальное моделирование, направленные на повышение линейности усилительных трактов радиопередающих устройств.

1. Были рассмотрены основные причины возникновения нелинейных искажений в усилительных трактах, в особенности отмечена тенденция к использованию многопозиционных сигналов, а также развитие систем

множественного доступа, требующих высокой линейности от устройств усиления.

2. Проведен сопоставительный анализ различных методов повышения линейности УМ по оценке их сложности преобразований, степени линеаризации, способности преобразовывать широкополосные сигналы. В ходе данного анализа установлено, что такой цифровой способ уменьшения нелинейных искажений как цифровые предискажения обладает наибольшим числом преимуществ, что обосновывает выбор данного метода в качестве главного в данной работе.

3. Проведен сравнительный анализ различных поведенческих моделей УМ. В ходе данного исследования была установлена необходимость учета эффекта памяти при компьютерном моделировании. Отмечено, что наиболее оптимальной для описания нелинейной динамической системы является полиномиальная модель с памятью, так как она обладает небольшим числом параметров, демонстрирует высокую точность аппроксимации как для слабо, так и для сильно нелинейных систем, а также может быть идентифицирована линейными алгоритмами.

4. Проведено исследование типов цифровых корректоров, по результатам которого зафиксирована большая эффективность бесструктурных моделей, в сравнении с моделями на основе таблиц соответствия. Представлены алгоритмы адаптации для систем ввода предискажений на основе полиномиальных моделей. Рассмотрен наиболее эффективный, с точки зрения скорости сходимости, алгоритм с косвенным обучением. Рассмотрены алгоритмы идентификации для систем ввода предискажений на основе аналитических моделей. Описан алгоритм адаптации для систем ввода предискажений с непрямым обучением на основе алгоритма *LMS*, *RLS* и *RPEM*.

5. На основании данных, полученных в ходе теоретического исследования, была синтезирована структура усилителя мощности со статичным корректором, в итоге моделирования был получен коэффициент гармонических искажений на уровне 0,5968%, сделан вывод о недостаточной степени компенсации расширения спектра сигнала на выходе УМ. На основании этого было принято решение о необходимости исследования также и адаптивной схемы цифрового корректора с применением непрямого обучения, и алгоритмами адаптации *RPEM* и *LMS*.

В ходе моделирования данной структуры были получены отличные показатели КГИ – 0,129%, 0,01656% для *RPEM* и *LMS* соответственно, при усилении входного сигнала на уровне 22,56дБ.

Отдельно стоит отметить необходимость проведения дальнейших исследований темы цифровых предскажений, так как существующие методы достигают своих пределов. Применение алгоритмов *DPD* в сетях пятого и шестого поколения должны учесть такие особенности как:

- сложность алгоритмов *DPD*, требующая больших временных и вычислительных затрат для расчета модели требуемой размерности;
- масштабируемость для применения в сетях с множественным доступом (*MIMO DPD*);
- рост интермодуляционных искажений в многодиапазонных сетях.

Существуют прототипы цифровых алгоритмов линеаризации, способные удовлетворить описанные выше требования, например, сокращенная модель Вольтерра с применением прореженного зондирования, требующие как компьютерного, так и практического моделирования и исследования.