

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Назарова Максима Андреевича
«Измерение нелинейных характеристик цепей на основе нелинейно-инерционной поведенческой модели первого порядка», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности «2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Диссертация М.А. Назарова посвящена актуальной теме, а именно, повышению качества моделирования сложных радиотехнических систем. Автором разработан и аппаратурно реализован метод экстракции параметров нелинейно-инерционной поведенческой модели на основе рекурсивного фильтра первого порядка, предназначенной для определения отклика на выходе нелинейных устройств при произвольном входном воздействии. Исследованная в диссертации поведенческая модель позволяет существенно сократить сроки разработки сложных радиотехнических систем без ухудшения точности моделирования.

Диссертационная работа содержит введение, четыре главы, заключение, список литературы, включающий 89 наименований, и приложения с актами внедрения результатов работы соискателя и свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ, а также заявкой на патент на изобретение. Объем диссертации с приложениями 145 с, 71 рисунок. Автореферат диссертации написан и оформлен в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011 и требованиями ВАК Минобрнауки России. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

Во введении определены цель и задачи исследования, приведены основные научные результаты, обосновано научное и практическое значение работы, представлены положения, выносимые на защиту, показана актуальность работы и личный вклад автора.

В первом разделе проведен сравнительный обзор нелинейных поведенческих моделей, предназначенных для анализа режимов нелинейных цепей, рассмотрены вопросы экстракции параметров этих моделей. Описаны методы измерения параметров и характеристик нелинейных цепей. Представлен обзор приборов для проведения импульсных измерений параметров нелинейных цепей, описаны методы калибровки измерительных приборов. Сформулированы цель и задачи работы.

Во втором разделе сформулированы требования к оборудованию для измерения переходных характеристик исследуемого класса цепей и устройств. В данном разделе рассмотрены вопросы точности измерения переходных характеристик объекта с учетом нелинейных искажений генератора ступенчатых функций и осциллографа. Описаны методы коррекции данных источников погрешности.

В третьем разделе предложен и исследован способ косвенного измерения нелинейных характеристик объекта, основанный на использовании семейства переходных характеристик объекта, вопросы измерения которых рассмотрены в предыдущем разделе. Предложенный автором диссертации способ позволяет измерять нелинейные характеристики объекта, связанные с его статической и динамической нелинейностью. Статическая нелинейность определяется вольт-амперной характеристикой объекта (амплитудной характеристикой), а динамическая нелинейность описывается кулон-вольтовой характеристикой (нелинейностью в условиях продолжающихся заряда-разряда объекта). В данном разделе представлена оригинальная методика расчета погрешности измерения нелинейных характеристик объекта. В соответствии с разработанной методикой приведен алгоритм программы для автоматизированного измерения нелинейных характеристик цепей.

В четвертом разделе приведены результаты исследования ряда устройств предложенным способом измерения нелинейных характеристик. К таким устройствам относятся цепи, имеющие переходные характеристики

без выброса и провала на плоской вершине импульса (первого порядка). В качестве примера для анализа переходных характеристик выбран трехкаскадный усилитель мощности. Полученная для данного усилителя модель позволила автору сопоставить теоретические и измеренные переходные характеристики. Погрешность расчета составила не более 3.2 %, что соответствует типовому значению для поведенческих моделей. На примере данного усилителя проведена валидация его модели для прямоугольного импульса, погрешность для которого теоретически максимальна. Погрешность невязки измеренных откликов и откликов, полученных по результатам моделирования, составила не более 5 %, что характерно для поведенческих моделей. Следует отметить, что в данном разделе показана возможность применения предложенного способа измерения нелинейных характеристик для цепей (устройств), имеющих переходные характеристики выше первого порядка. Установлено, что относительная динамическая нелинейность для таких цепей, рассчитанная по модели первого порядка, практически совпадает с относительной динамической нелинейностью, рассчитанной по модели более высокого порядка. Таким образом, в диссертационной работе обоснована и доказана целесообразность применения предложенного способа измерения нелинейных характеристик для устройств, имеющих переходные характеристики высокого порядка.

В приложениях содержатся акты внедрения результатов диссертационной работы, свидетельство о регистрации программы для ЭВМ и дипломы.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Показано, что поведенческая модель в виде нелинейного рекурсивного фильтра позволяет селективно определять и контролировать систематическую погрешность измерения, связанную с динамической нелинейностью регистрирующего устройства.

2. Показано, что модель в виде нелинейного рекурсивного фильтра первого порядка позволяет отдельно измерять динамическую и статическую нелинейность устройств с определяемой погрешностью.

3. Установлено, что относительная динамическая нелинейность устройства, рассчитанная по модели в виде рекурсивного фильтра первого порядка, совпадает с относительной динамической нелинейностью, рассчитанной по модели в виде рекурсивного фильтра выше первого порядка.

Научная значимость работы не вызывает сомнений. В диссертации Максима Андреевича на высоком научно-методическом уровне решена актуальная задача повышения качества моделирования радиотехнических систем на основе разработанной поведенческой модели для нелинейных устройств, широко используемых в современных радиотехнических системах. Предложенная поведенческая модель на основе нелинейного рекурсивного фильтра первого порядка показала высокую точность моделирования и может быть использована для структурного и схемотехнического проектирования радиотехнической системы.

Достоверность научных положений и выводов, содержащихся в диссертационной работе, подтверждается согласованностью полученных результатов с известными теоретическими и экспериментальными данными. Адекватность экспериментальных данных обеспечена современными средствами измерений и стандартными методиками проведения исследований.

По результатам исследований опубликовано 14 работ: 4 статьи в журналах из перечня ВАК, одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 8 докладов на всероссийских и международных конференциях и 2 доклада, индексируемых в наукометрической базе Scopus.

Результаты, достигнутые при выполнении диссертационной работы, представляют **практическую значимость**. Это подтверждается актами о

внедрении результатов на предприятиях АО «Научно–исследовательского института полупроводниковых приборов», ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники». Кроме этого, результаты использовались при выполнении госзадания, гранта РФФИ.

Замечания по диссертационной работе:

1. В первой обзорной главе диссертации недостаточно подробно описаны достоинства и недостатки известного метода гармонического баланса, широко используемого в настоящее время во многих схемотехнических САПР, работающих на основе spice моделей диодов и транзисторов.
2. Эквивалентные схемы, описанные в первой главе, не соответствуют общепринятым требованиям (отсутствуют точки на пересекаемых линиях).
3. В третьей главе доказана высокая точность определения ВАХ и КВХ предложенным методом. Однако конкретное практическое применение поведенческой модели не раскрыто. Например, определенный интерес представляет анализ длительности фронта и длительности спада выходного импульса исследуемого трехкаскадного усилителя в зависимости от амплитуды на входе.
4. В четвертой главе не сделан акцент на том, что предложенная модель описывает многокаскадные устройства в целом, а не каждый отдельный каскад.

Заключение

В целом, диссертационная работа Максима Андреевича Назарова «Измерение нелинейных характеристик цепей на основе нелинейно-инерционной поведенческой модели первого порядка» является завершенным научным исследованием, и соответствует требованиям, установленным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней»,

утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 в редакции от 26.09.2022, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент

Доктор технических наук по специальности 05.12.07, профессор кафедры теоретических основ радиотехники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»,

Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20,

Тел. 8 (383) 346-08-34

e-mail: razinkin_vp@mail.ru


Владимир Павлович Разинкин
«15» ноября 2023

Подпись д.т.н. Разинкина В.П. удостоверяю,
начальник ОК НГТУ



О.К. Пустовалова

