

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель генерального
директора - заместитель по
научной работе,
доктор технических наук



 А.Н. Щипунов

«23» 10 2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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

Актуальность темы исследования

При разработке современных радиотехнических систем и модулей значительное внимание уделяется вопросам, связанным с использованием физических или поведенческих математических моделей устройств. На этапе моделирования работы радиотехнической системы важно учитывать нелинейные искажения сигналов отдельных устройств, из которых состоит радиотехническая система, а также нелинейные искажения всей радиотехнической системы.

В настоящее время широкополосные видеоимпульсные сигналы и сигналы, близкие к ним, получили широкое применение в системах связи, радиолокации, навигации, телеметрии, нелинейной рефлектометрии и др. В связи с этим, возникает актуальная задача, связанная с построением точных моделей для оптимизации устройств, работающих с использованием импульсных сигналов. Типичные широкополосные радиотехнические системы содержат несколько активных компонентов интегральных схем, а также пассивных элементов. Такие системы часто слишком сложны, чтобы выполнить моделирование нелинейного поведения всей системы на уровне описания реакции отдельных компонентов. Однако, полное моделирование системы может стать оправданным при условии, когда проектирование выполняется на более высоком уровне абстракции с использованием поведенческих моделей нелинейных блоков или интегральных схем.

В этой связи диссертационная работа Назарова М.А., посвященная разработке метода измерений нелинейных характеристик цепей и устройств, основанного на поведенческой модели, позволяющей описывать работу цепей, устройств или радиотехнической системы при воздействии широкополосных видеоимпульсных сигналов, **является актуальной**. Разработанный метод позволил описывать с нормированной погрешностью поведение нелинейных цепей и устройств при воздействии импульсных сигналов.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа изложена на 145 страницах, включает введение, 4 раздела, заключение и список литературы из 89 наименований.

Проведя анализ вопросов характеризации радиотехнических систем, работающих при воздействии широкополосных импульсных сигналов, автор вполне обоснованно определяет цель работы: исследование вопросов измерений нелинейных характеристик цепей на основе нелинейного рекурсивного фильтра первого порядка.

В первой главе приведен сравнительный обзор нелинейных поведенческих моделей, рассмотрены проблемы экстракции параметров этих моделей, выполнен обзор средств и методов измерений нелинейных характеристик цепей.

Во второй главе проведены исследования, в том числе экспериментальные, по оценке стационарных и динамических метрологических характеристик осциллографов и генераторов импульсов. На основании полученных результатов сформулированы требования к оборудованию для измерений переходных характеристик цепей в линейном и нелинейном режиме.

Третья глава посвящена разработке метода измерений нелинейных характеристик цепей и устройств, основанного на поведенческой модели в виде рекурсивного фильтра первого порядка. Такими характеристиками являются вольт-амперная характеристика (ВАХ), учитывающая статическую нелинейность объекта, и кулон-вольтовая характеристика (КВХ), учитывающая его динамическую нелинейность. Проведен расчет погрешности косвенных измерений ВАХ и КВХ. Разработанный метод измерений апробирован на примере параллельной RC-цепи с известными параметрами. Проверено качество и адекватность полученной модели. Получена невязка переходных характеристик, полученных по теоретическому выражению для RC-цепи и по результатам моделирования. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана автоматизированная измерительная установка нелинейных ВАХ и КВХ объекта, для которой с помощью меры нелинейности была оценена собственная нелинейность.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований, в том числе практическая реализация измерений ВАХ и КВХ трехкаскадного усилителя мощности. При этом также выполнены расчеты погрешности измерений и проведена валидация модели усилителя для произвольного тестового воздействия.

В качестве наиболее важных **результатов диссертационной работы, определяющих ее новизну**, следует отметить следующие:

1. Показано, что поведенческая модель в виде нелинейного рекурсивного фильтра позволяет селективно определять и контролировать систематическую погрешность измерений, связанную с динамической нелинейностью исследуемой цепи.

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

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выносимые на защиту, и полученные в работе выводы представляются обоснованными, поскольку они базируются на применении общепринятых методов исследований, прошли обсуждения на Российских и международных научных конференциях, а также опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК и входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science.

Полученные расчетные результаты подтверждены при оценке метрологических характеристик разработанной автором автоматизированной измерительной установки нелинейных ВАХ и КВХ, а также при экспериментальном исследовании макета автоматизированной установки для измерений пробивного напряжения диодов Ганна 3A702A.

Материалы диссертации изложены достаточно логично и последовательно. Работа выполнена на высоком научном уровне с использованием современного математического аппарата и практики проведения экспериментальных исследований, что подтверждает достаточную квалификацию соискателя для решения сложных научных задач. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью исходных положений и преобразований, использованием апробированного математического и статистического аппарата, компьютерных программ и логической обоснованностью выводов, а также экспериментальной верификацией разработанных моделей.

Практическая значимость полученных автором результатов

Практическая значимость результатов работы состоит в том, что разработанный метод измерений нелинейных характеристик цепей и устройств, а также разработанная автоматизированная измерительная установка

нелинейных ВАХ и КВХ, обеспечивают возможность создавать поведенческие модели радиотехнических систем при видеоимпульсном тестовом воздействии.

Применение таких моделей в системах автоматизированного проектирования (САПР) позволит повысить достоверность и информативность при создании современных и перспективных широкополосных радиоэлектронных изделий, узлов и модулей. Использование поведенческих моделей на этапе структурного проектирования, в отличие от физических моделей, более эффективно, поскольку экономит вычислительные ресурсы ЭВМ и уменьшает время разработки.

Решаемые в диссертационной работе научные задачи связаны с проводимыми ФГУП «ВНИИФТРИ» работами по разработке средств и методов импульсных измерений и метрологическому обеспечению осциллографов, генераторов импульсов, кодовых и псевдослучайных последовательностей, специальных средств измерений параметров сигналов и сетей цифровой связи.

Результаты диссертации Назарова М.А. в дальнейшем рекомендуется использовать в испытательных лабораториях и организациях промышленности, проводящих разработки и испытания радиоэлектронных изделий, модулей и компонентов, в том числе в нелинейных режимах работы.

Замечания по диссертационной работе

Вместе с тем работа не лишена и некоторых недостатков.

1. В диссертационной работе отсутствует сравнение предложенной модели на основе нелинейного рекурсивного фильтра первого порядка с нелинейной поведенческой моделью на основе X-параметров, которая в настоящее время находит все более широкое применение.

2. Автором проведены оценки статической нелинейности (стационарных метрологических характеристик) применяемых средств измерений: осциллографа и генератора импульсов, а также выполнялась калибровка смещения нуля осциллографа. С учетом отсутствия сведений о долговременной стабильности измеренных калибровочных коэффициентов не ясно, как часто необходимо проводить калибровку измерительной системы.

3. Критерии выбора момента стробирования при измерении ВАХ и КВХ (раздел 3.3) сформулированы автором не четко, не формализованы. Выбор мгновенного значения характеристик осуществляется оператором исходя из собственного опыта, что может вносить субъективные ошибки.

Однако, указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы и не снижают ее научной и практической ценности.

Заключение

Диссертационная работа Назарова М.А. на соискание ученой степени кандидата технических наук представляет собой законченное исследование, которое содержит решение актуальной научной задачи. Новые научные результаты, обоснованные в диссертации и реализованные на практике, имеют прикладное значение.

Представленная работа соответствует паспорту специальности 2.2.13 - «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»:

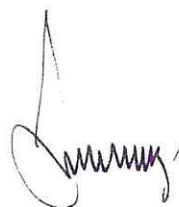
- в части паспорта специальности, п.4, работа посвящена исследованию устройств генерирования, усиления и преобразования радиосигналов, а также созданию эффективных методов расчета и проектирования радиотехнических устройств;

- в части паспорта специальности, п.15, в работе исследуются физические и математические имитационные модели радиотехнических устройств и систем.

Таким образом, по актуальности и объему выполненных исследований, новизне, достоверности, научной и практической значимости полученных результатов диссертационная работа Назарова М.А. «Измерение нелинейных характеристик цепей на основе нелинейно-инерционной поведенческой модели первого порядка» соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор Назаров Максим Андреевич заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 - «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Диссертационная работа рассмотрена 17.10.2023 г. на заседании секции № 1 Ученого совета ФГУП «ВНИИФТРИ» при Научно-исследовательском отделении метрологии радиотехнических и электромагнитных измерений (НИО-1).

Начальник НИО-1,
кандидат технических наук



Каминский О.В.

Заместитель начальника НИО-1 по научной
работе, кандидат технических наук



Клеопин А.В.

141570, Московская область, Солнечногорский район, г.п. Менделеево
<https://www.vniiftri.ru>
office@vniiftri.ru
тел.: +7 (495) 526-63-63