

ОТЗЫВ

научного руководителя

на диссертационную работу Исаева Владислава Олеговича
«Аппроксимация импедансных характеристик радиотехнических устройств в задачах широкополосного согласования на основе разложения дробно-рациональной функции методом Геверца» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Научная оценка диссертации

Настоящая диссертация посвящена вопросам математического моделирования импедансных характеристик радиотехнических устройств (РТУ) и направлена на улучшение технических характеристик радиотехнических устройств систем радиолокации, телекоммуникации и других систем, применяемых в различных условиях эксплуатации.

РТУ являются важнейшими компонентами современных систем передачи информации (СПИ), обеспечивающими возможность передачи и приема сигналов на огромные расстояния. Однако эти устройства часто работают не только в широком диапазоне частот и мощностей сигнала, но и изменяющихся условиях эксплуатации, что приводит к существенным вариациям комплексного сопротивления нагрузки (импеданса), особенно на подвижных СПИ. Это ведет к рассогласованию с выходным сопротивлением источника сигнала и способствует появлению в тракте отраженной волны, вызывая изменения режима работы РТУ и ухудшая их характеристики.

Процессы, связанные с уменьшением мощности радиосигнала, приводят к существенному снижению дальности радиолинии (радиолокации, радиосвязи), уменьшению коэффициента полезного действия радиопередатчика, ослаблению чувствительности радиоприемника и другим нежелательным последствиям. Это, несомненно, уменьшает эффективность РТУ и, для обеспечения оптимальной производительности, требует от разработчика применения решений, связанных с адаптивным широкополосным согласованием. Одной из ключевых задач в этом контексте является точное приближение характеристик импеданса согласуемой нагрузки к ее реальному значению, которые могут быть очень сложными и трудными для моделирования.

Задача согласования импедансов в РТУ активно изучается в последние несколько десятилетий, где было предложено несколько методов аппроксимации их импедансных характеристик. Однако большинство этих методов ограничены в возможности точного моделирования импедансных характеристик РТУ. Традиционные подходы, такие как структурно-параметрические методы и модели

диапазонных эквивалентов, могут только аппроксимировать характеристики импеданса устройств в узком диапазоне частот. Это ограничение возникает из-за присущей устройствам сложности характеристик импеданса, которые изменяются в зависимости от частоты и зависят от нескольких факторов, таких как геометрия устройства, свойства материала и условия эксплуатации, что подтверждается результатами экспериментальных исследований по оценке влияния условий эксплуатации на импедансные характеристики РТУ, выполненных диссертантом.

Необходимость точного представления импедансных характеристик РТУ для решения задачи широкополосного согласования привела к разработке новых методов, направленных на преодоление ограничений существующих подходов. Одной из внешних аппроксимаций импедансной характеристики антенны является использование математических моделей.

Одним из перспективных методом аппроксимации импедансных характеристик РТУ является использование алгоритмов оптимизации, которые позволяют найти оптимальное решение данной задачи путем итеративного поиска наилучшего набора параметров математической модели импеданса РТУ, которые минимизируют заданную целевую функцию. Такие математические модели могут быть разработаны на основе данных, полученных в ходе экспериментальных исследований или численных моделирований. Однако в статистических моделях должно учитывать, что эти модели могут быть недостаточно точными, так как они основаны на измерениях, имеющих в своем составе ошибки и погрешности различной природы. Поэтому, для получения более точных результатов, мы должны использовать методы математической обработки и статистического анализа. Это позволит также использовать алгоритмы оптимизации для поиска оптимальной схемы согласования, которая согласует импеданс устройства с линией передачи в широком диапазоне частот в условиях изменяющегося импеданса согласуемой нагрузки.

Таким образом, разработка новых методов аппроксимации импедансных характеристик радиотехнических устройств в задачах широкополосного согласования имеет большое значение для современных СПИ. Точное моделирование характеристик импеданса широкополосного РТУ имеет решающее значение для достижения оптимальной производительности устройства и повышения общей эффективности радиотехнической системы в целом, что обуславливает актуальность данной диссертации.

В диссертации Исаев В.О. выполнил обзор и анализ методов и методик моделирования согласуемых нагрузок по их импедансным характеристикам, по результатам которого, в качестве математического аппарата, был выбран метод макро моделирования. Это обусловлено тем,

что данный подход позволяет рассматривать входное сопротивление нагрузки в виде простых математических моделей с высокой степенью точности и не рассчитывать его в виде схемных эквивалентов.

В диссертации соискателем разработана методика формирования аналитической модели импедансных характеристик широкополосных РТУ, где в качестве математической модели импеданса используется дробно-рациональная функция импеданса, разложенная методом Геверца на реальную и мнимую составляющие, обладающая свойствами физической реализуемости. Эффективность разработанной методики наглядно продемонстрировано при расчете моделей импедансов различных классов нагрузок, а также решением тестовых задач по результатам решения которых было установлено, что рассчитанная при помощи разработанной методики аналитическая модель импеданса РТУ позволяет уменьшить ошибку и порядок аппроксимации реальной и мнимой составляющих импеданса согласуемой нагрузки, численно заданных на дискретном ряде частот, по сравнению со структурно-параметрическими методами моделирования импедансов нагрузки.

Исходя из того, что импедансные характеристики современных РТУ, которые определяют с помощью экспериментальных исследований, имеют сложный вид, изменяются как во времени, так и в зависимости от условий эксплуатации, и содержат случайные составляющие самой различной природы, то модели, рассчитанные по этим данным, становятся, по меньшей мере, не оптимальными. Таким образом, диссертантом была разработана методика математической обработки результатов измерения нестационарного импеданса согласуемой нагрузки, позволяющая рассчитать математические модели нестационарного импеданса широкополосных радиотехнических устройств с заданными параметрами доверительной вероятности, относительной погрешности и абсолютной ошибки аппроксимации. Предложенная методика позволила оценить и сформировать математическую модель импедансных характеристик АУ АД-44/СW-ТА-30-512 в различных условиях эксплуатации с доверительной вероятностью не менее 0,9, относительной погрешностью не более 10 %, и обеспечить абсолютную ошибку аппроксимации не более 10%.

Следует отметить, что возможности по сохранению требуемого уровня передачи мощности в условиях изменения импеданса нагрузки не могут быть безграничными, в связи с чем, соискателем, с помощью методики синтеза согласующих цепей (СЦ) для широкополосных РТУ с изменяющимся импедансом нагрузки, основанной на методе вещественных частот и разработанной методике математической обработки результатов измерения нестационарного импеданса согласуемой нагрузки, была разработана математическая модель широкополосного согласующего устройства (ШСУ), отличающаяся

учетом отклонения комплексного сопротивления нагрузки и разброса номиналов элементов СЦ, позволяющая проектировать ШСУ в сосредоточенном элементном базисе с возможным учетом добротности реактивных элементов при условии, что структура цепи задана

Завершающим этапом диссертационной работы явилось проведение натуральных и полунатурных исследований работоспособности разработанных методик в задачах широкополосного согласования. Результаты проведенных исследований подтвердили более стабильное значение уровня передачи мощности в условиях изменяющегося импеданса нагрузки, так:

- разработанная методика обработки результатов измерений импеданса радиотехнических устройств позволила оценить и описать импедансные характеристики антенного устройства (АУ) AD-44/CW-TA-30-512 аналитической моделью (АМ) с высокой степенью адекватности (с доверительной вероятностью не менее 0,9 и относительной погрешностью не более 10 %), что позволило синтезировать широкополосную СЦ, обеспечивающую уменьшение потерь уровня коэффициента передачи мощности (КПМ) АУ AD-44/CW-TA-30-512 при расположении его в различных условиях эксплуатации не менее чем на 50% по отношению к потерям, полученным без синтезированной ШСЦ, а также обеспечивающую уровень КПМ не менее 0,9 при отклонении импеданса нагрузки от 5 до 25 Ом

- разработанная методика обработки результатов измерений импеданса радиотехнических устройств позволила оценить и описать импедансные характеристики J-антенны (быстроразвертываемого сигнализационного комплекса «Паук») в виде АМ с высокой степенью адекватности (с доверительной вероятностью не менее 0,9 и относительной погрешностью не более 10 %), что позволило синтезировать широкополосную СЦ, обеспечивающую уменьшение степени влияния вариаций импеданса нагрузки на уровень передачи мощности (КСВ), вызванного попаданием инородных предметов между излучателем и обвесом. О чем свидетельствует значение $КСВ \leq 2,5$ в рабочем диапазоне частот при отклонении импеданса нагрузки до 40 Ом.

- математическая модель ШСУ позволила уменьшить усредненные потери уровня КПМ от входного (выходного) тракта к комплексной нагрузке в рабочем диапазоне частот, тем самым обеспечить усредненный выигрыш в потенциально достижимой дальности действия радиолинии для радиостанции Р-181-5НУ от 2% до 15% (250–2300 м) в рамках полученных экспериментальных исследований.

Новыми результатами, значимыми для отрасли науки, области исследований и практики, представленными в диссертации, является:

- методика формирования аналитической модели импеданса широкополосных радиотехнических устройств, отличающаяся учетом

условий физической реализуемости и разложением дробно-рациональной функции импеданса на реальную и мнимую составляющие методом Геверца, что позволяет уменьшить ошибку и порядок аппроксимации реальной и мнимой составляющих импеданса согласуемой нагрузки, численно заданных на дискретном ряде частот, по сравнению со структурно-параметрическими методами моделирования импедансов нагрузки;

– методика обработки результатов измерения нестационарных импедансов согласуемых нагрузок, отличающаяся формированием математической модели импеданса радиотехнических устройств на основе оценок математического ожидания измеренного импеданса, позволяющая получить математические модели нестационарных импедансов широкополосных радиотехнических устройств с заданными параметрами доверительной вероятности, относительной погрешности и абсолютной ошибки аппроксимации;

Выполненная Исаевым В.О. научная работа отличается целостностью и завершенностью. Поставленные для исследования цель и задачи выполнены в полном объеме. Все научные положения выполнены корректно и с использованием строгого математического аппарата, выводы и рекомендации убедительны и представляют значительный практический интерес. Самостоятельно выполненные автором исследования свидетельствуют о его способности решать творческие задачи, находить решения сложных задач. Научные результаты внедрены в учебный процесс, о чем свидетельствуют акты о внедрении.

Значительные научные результаты, полученные диссертантом в ходе исследований, оказались полезными для технических разработок в ряде конструкторских и научно-исследовательских учреждений республики. Продуктивным для обеих сторон оказалось тесное сотрудничество с ГО «НПЦ НАН Беларуси, ООО «Демерес», учреждением образования «Военная академия Республики Беларусь», военным факультетом и научно-образовательным инновационным центром СВЧ технологий и их метрологического обеспечения НИЛ учреждения образования «БГУИР». На основании чего были получены 11 актов и 2 справки о возможном практическом использовании результатов диссертационных исследований.

Соискатель опубликовал по теме диссертации 28 печатных работы, в том числе 12 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, 16 тезисов докладов и материалов конференций. Таким образом, требования ВАК к опубликованности результатов диссертационного исследования соблюдены.

Диссертационная работа подготовлена к защите, оформлена в соответствии с требованиями ВАК и состоит из введения, общей

характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и трех приложений.

Характеристика научной, научно-педагогической и служебной деятельности соискателя

В процессе работы над диссертацией Исаев В.О. проявил себя полностью сформировавшимся научным работником, который способен самостоятельно осуществлять научный поиск, умеет выполнять необходимые научные и инженерные расчеты, правильно анализировать полученные результаты и доводить их до практической реализации. Имеет требуемые знания в области информационных технологий, навыки работы с системами проведения и документирования инженерных расчетов, математическими пакетами Matlab и Mathcad, AWR Microwave Studio и CST Studio, что позволило ему провести полномасштабное математическое моделирование разработанных математических моделей импедансов и ШСУ различных нагрузок.

В настоящее время Исаев В.О. проходит службу в должности инженера учебной лаборатории кафедры автоматизи, радиолокации и приемо-передающих устройств учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь». Научные исследования проводит в области математического моделирования импедансов РТУ и проектирования ШСУ как в ОВЧ/УВЧ диапазонах частот, так и СВЧ, зарекомендовал себя как грамотный, требовательный и дисциплинированный офицер.

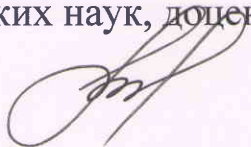
Вывод

Уровень научной квалификации и научные результаты, полученные в ходе работы над диссертацией, свидетельствуют о том, что Исаев В.О. соответствует требованиям, предъявляемым к соискателям ученой степени кандидата технических наук, и заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» за:

1. Разработанную методику формирования аналитической модели импеданса радиотехнических устройств, отличающуюся учетом условий физической реализуемости и разложением дробно-рациональной функции импеданса на реальную и мнимую составляющие методом Геверца, позволяющую уменьшить ошибку вычислений и порядок дробно-рациональной функции, описывающей реальную и мнимую составляющие импеданса согласуемой нагрузки, численно заданных на дискретном ряде частот, по сравнению со структурно-параметрическими методами моделирования импедансов нагрузки (например, для антенны типа вибратор горизонтальный диапазонный уменьшить ошибку аппроксимации на 18% для реальной составляющей, на 17% для мнимой составляющей и уменьшить порядок математической модели импеданса на 2).

2. Разработанную методику обработки результатов измерений импеданса радиотехнических устройств в заданных условиях эксплуатации, отличающуюся заданием требуемых доверительных вероятностей и интервала для реальной и мнимой составляющих импеданса в заданном диапазоне частот и определением минимального количества необходимого числа измерений импеданса на каждой частоте с учетом погрешностей измерителя, позволяющую получить математические модели импедансов широкополосных радиотехнических устройств с учетом погрешностей измерений с заданными параметрами доверительной вероятности (0.5–0.99), относительной погрешности (1–30%) и абсолютной ошибки аппроксимации не более 10%, требуемыми для расчета согласующих устройств (например, получить математическую модель нестационарного импеданса антенны AD-25/CW-3512 с доверительной вероятностью 0,9, относительной погрешностью 10%, и обеспечить абсолютную ошибку аппроксимации не более 10%).

Начальник кафедры тактики и
вооружения радиотехнических
войск учреждения образования
«Военная академия
Республики Беларусь»
кандидат технических наук, доцент
полковник
09.06.2023



П.В.Бойкачев

Факты, изложенные в документе, не удостоверяю.

Город Минск. Девятое июня две тысячи двадцать третьего года.

Я, Лепешко Геннадий Владимирович, начальник учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь», свидетельствую подлинность подписи полковника Бойкачева П.В., подписавшего документ в моем присутствии. Личность полковника Бойкачева П.В., подписавшего документ, установлена.

Начальник учреждения
образования «Военная академия
Республики Беларусь»
генерал-майор



Г.В.Лепешко