

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Литовченко Владимира Анатольевича** «Совершенствование методов и средств имитационного моделирования усилителей и автогенераторов СВЧ и измерения S -параметров их активного компонента», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Актуальность темы работы. При разработке полупроводниковых СВЧ усилителей и автогенераторов широко используются системы автоматизированного проектирования, в которых для моделирования СВЧ-узлов необходимо задать S -параметры активного компонента – транзистора, диода или микросборки. Такие параметры предоставляются производителями электронных компонентов, причем измерены они в заранее оговоренных условиях, часто не совпадающих с реальными условиями работы активного компонента по импедансам нагрузок, по мощности сигналов на его портах, а также по режиму питания. Однако для адекватного моделирования активного компонента в составе СВЧ-устройства и сокращения этапов проектирования необходимо знать измеренные параметры компонента в условиях, наиболее приближенных к реальным.

Несмотря на широко используемую импульсную рефлектометрию, описание многополюсников СВЧ с помощью X -параметров, а также других методов, использующих дорогостоящие векторные анализаторы цепей, в диссертационной работе В. А. Литовченко предложено использовать имитатор-анализатор цепей, позволяющий проводить косвенные измерения S -параметров активного компонента при различных коэффициентах отражения на портах двух- и четырехполусника, а также мощности и питающих напряжений. Поставленная в диссертационной работе В. А. Литовченко задача разработки конструкции анализатора, использующего только недорогие измерители мощности, а также совершенствование методов определения S -параметров для нужд отечественной электронной промышленности является актуальной задачей.

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 108 наименований и приложения, в котором представлены акты внедрения результатов диссертационной работы В. А. Литовченко. Основной текст диссертации изложен на 152 страницах и содержит 45 рисунков и 12 таблиц.

Во введении определена цель исследования, сформулированы научные положения, отмечены новизна, научная ценность, практическая значимость проведенных исследований, отмечена апробация полученных результатов, их внедрение.

В первой главе проведен сравнительный анализ векторных анализаторов цепей и цифровых анализаторов цепей, приведены сведения из теории измерения S -параметров и калибровки измерителей, введено описание матрицы S -параметров четырехполюсника как функционала, зависящего от импедансов нагрузок, частоты, мощности и режима питания. Приведена классификация цифровых анализаторов цепей, пригодных для измерения комплексных S -параметров активных компонентов с произвольными импедансами нагрузок с помощью набора детекторов и фазовращателей. Обоснован выбор архитектуры разрабатываемого анализатора.

Во второй главе описана схема и конструкция анализатора, принцип его действия. Предложена математическая модель анализатора при возбуждении исследуемого четырехполюсника только в одном порту, а также при возбуждении его одновременно с двух портов. Подробно освещены вопросы калибровки анализатора как в односигнальном, так и в двухсигнальном режимах. Поскольку большинство активных компонентов элементов предназначено для микрополосковой печатной технологии, а измерения проводятся в коаксиальном тракте, автор заостряет внимание на вопросах метрологии коаксиально-полосковых переходов. В связи с чем использована оригинальная методика калибровки в микрополосковом тракте. Приведены теоретические выкладки по расчету многошлейфовых согласующих трансформаторов, а также методика их калибровки.

Третья глава посвящена методам повышения точности измерений, проводимых с помощью разработанного анализатора. Предложена вариационная методика оценки предельной суммарной погрешности и подходы к её уменьшению с помощью амплитудной и фазовой адаптации анализатора. Оценены предельные метрологические характеристики анализатора.

В четвертой главе приведен пример практической реализации двухпортового анализатора с использованием широко распространенных отечественных измерительных приборов и компонентов. Описаны образцы реальных СВЧ-узлов, при проектировании которых существенную роль могли сыграть как разработанный анализатор, так и предложенные методики.

Степень обоснованности научных положений, выводов и результатов. Научные положения, выводы и результаты, представленные в работе, основаны на использовании классической теории радиотехнических цепей, математической статистики и аппарата матричного исчисления, а также на корректном применении методов анализа цепей СВЧ с распределенными параметрами. Достоверность полученных результатов подкреплена согласованностью результатов аналитических расчетов, компьютерного моделирования и экспериментальных исследований.

Научная новизна работы В. А. Литовченко заключается в разработанной процедуре, сочетающей имитационное моделирование СВЧ устройств с оптимизацией их характеристик для соответствия техническому заданию.

Теоретическая значимость работы. Предложен усовершенствованный метод определения S -параметров активных компонентов, который в аналитическом виде позволяет установить связь элементов S -матрицы с коэффициентами отражения и пропускания, частотой, мощностью и параметрами питания по постоянному току.

Практическая значимость работы. Несомненным достоинством является реализация метода измерения S -параметров, адекватных конкретным режимам работы активных компонентов, в виде специализированного анализатора, построенного на базе недорогих

измерительных устройств. Внедрение такого подхода позволит сократить этапы проектирования новых СВЧ устройств за счет использования точных данных о компонентах при их моделировании в САПР.

Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, научные положения и выводы достаточно обоснованы. Полученные оригинальные результаты имеют научную и практическую значимость в области проектирования СВЧ устройств. Материал диссертации изложен грамотно, автореферат отражает существо диссертации. Содержание, основные выводы и практические рекомендации представленной работы соответствуют паспорту специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Замечания по работе

1. При анализе современных методов и средств измерения параметров четырехполюсников уделено внимание продукции только одного ведущего производителя, в то время как известны методы, основанные на измерении X -параметров. Сравнению разработанного метода с методом X -параметров и описанию его преимуществ не уделено должного внимания.

2. Описанный в диссертации способ калибровки измерителя с помощью микрополосковых мер, для которых известны только расчетные параметры, трудно отнести к достоверному из-за отсутствия эталона, наличия потерь в материале подложки и неизбежному излучению части энергии микрополосковой линией.

3. В автореферате (стр. 8) и диссертации (стр. 12) вместо обоснования достоверности результатов приведена практическая значимость. Упомянутое в разделе «достоверность» повышение экономической эффективности конкретного САПР не имеет достаточного обоснования.

4. Фотография готового устройства на рисунке 4.12 не соответствует его топологии, рисунок 4.11б.

5. Текст диссертации перегружен сокращениями и аббревиатурами.

Тем не менее, отмеченные недостатки не снижают ценности диссертационного исследования В. А. Литовченко и не снижают общего положительного впечатления о диссертационной работе.

Заключение

Диссертационная работа В. А. Литовченко «Совершенствование методов и средств имитационного моделирования усилителей и автогенераторов СВЧ и измерения S -параметров их активного компонента» является законченной научно-квалификационной работой, в которой разработана методика косвенного измерения элементов матрицы рассеяния активных четырехполосников при задаваемых эксплуатационных режимах, а также предложены новые способы калибровки и оценки погрешности.

Считаю, что диссертационная работа В. А. Литовченко полностью соответствует пп. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением № 842 от 24.09.2013 Правительства Российской Федерации, а её автор, Литовченко Владимир Анатольевич, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Официальный оппонент,
кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник,
заведующий лабораторией высокочастотной электроники
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт
сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЭ СО РАН),

24 ноября 2020 г.

Балзовский Евгений Владимирович

634055, г. Томск, пр. Академический, д. 2/3, ИСЭ СО РАН
тел. (3822) 49-19-00, +79069486174, e-mail: tduty5@mail.ru

Подпись Балзовского Е.В. удостоверяю,
ученый секретарь ИСЭ СО РАН д.ф.-м.н.



Пегель Игорь Валериевич