

## ОТЗЫВ

на диссертационную работу Торгованова Алексея Игоревича  
«Методы и техника оценки параметров мощных  
СВЧ-транзисторов в полосковых линиях передачи»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и  
методы контроля природной среды, веществ, материалов и  
изделий

В инженерной практике определения волновых параметров рассеяния (S-параметров) мощных СВЧ-транзисторов в полосковых линиях передачи с произвольным волновым сопротивлением не существует достоверных методов и средств измерений. По этой причине можно говорить лишь об оценке их параметров теми или иными способами. В диссертации Торгованова А.И. решены две задачи: - оценка S-параметров контактного устройства с транзистором в режиме большого сигнала в стандартном коаксиальном канале и определение параметров транзистора в полосковой линии передачи с произвольным волновым сопротивлением относительно его физических границ.

Для оценки большесигнальных S-параметров транзисторов в диапазоне частот и мощностей автор использовал оригинальный метод пространственно удаленной переменной нагрузки, а для переноса полученной информации к физическим границам измеряемого объекта - новый LRT-метод, в разработке которого он принимал активное участие.

В основе работы этих методов СВЧ измерений использован эффект электрически длинной линии передачи, при котором искомые коэффициенты отражения со стороны коаксиальных разъемов являются средними линиями квазипериодических комплексных функций частоты электромагнитного поля. Заслуга автора диссертации состоит в том, что он разработал и реализовал программными средствами весьма эффективный минимаксный метод скользящего среднего для поиска средней линии квазипериодической комплексной функций частоты. Существенно, что поиск средних линий является ключевой задачей в уменьшении методической погрешности получаемых оценок S-параметров, как в коаксиальном, так и в полосковом канале.

Важным результатом в развитии метода пространственно удаленной переменной нагрузки, полученным автором диссертации, является исключение погрешности, обусловленной неидеальными свойствами соединительного разъема коаксиального кабеля, используемого в качестве электрически длинной линии. Отличие эквивалентного входного импеданса кабеля от стандартного волнового сопротивления 50 Ом приводит к оценке S-параметров контактного устройства с идеальной 50-омной линией на входе и с линией, имеющей комплексное частотно-зависимое волновое сопротивление, близкое к 50 Ом, на выходе. Эквивалентный входной

импеданс коаксиального кабеля равен входному импедансу кабельного разъема в предположении о том, что он подключен к коаксиальному кабелю бесконечной длины или к идеальной коаксиальной нагрузке. Величину эквивалентного входного импеданса коаксиального кабеля автор диссертации предложил определять по результату измерения его входного коэффициента отражения  $S_{11}$  векторным анализатором цепей с помощью предложенного им алгоритма минимаксного скользящего среднего. После чего приведение полученных S-параметров к стандартному виду выполняется известным пересчетом с учетом известного скачка волнового сопротивления.

Перенос полученной оценки S-параметров контактного устройства с транзистором в режиме большого сигнала к физическим границам измеряемого объекта, установленного в полосковую линию с волновым сопротивлением, отличным от стандартного значения, автор предложил выполнять принципиально новым LRT-методом, в разработке которого он принимал активное участие. Принципиальное отличие LRT-метода от существующих решений состоит в использовании в качестве одной из калибровочных мер электрически длинной полосковой линии передачи вместо согласованной нагрузки и итерационной процедуры вычисления искомых параметров коаксиально-полосковых переходов вместо решения системы линейных уравнений. Полезным результатом диссертационной работы для практики СВЧ измерений электронных компонентов в нестандартных волноведущих системах является адаптация LRT-метода к восьми- и двенадцати компонентным калибровочным моделям векторных анализаторов цепей.

Следует также отметить, что первая экспериментальная проверка работоспособности и эффективности LRT-метода была выполнена по инициативе автора диссертации в НПЦ «Электронные системы» (г. Саратов) на примере измерений S-параметров устройств в П- и Н-образных волноводах.

Существенно, что все теоретические результаты, которые автор выносит на защиту, были проверены и подтверждены им как с помощью средств автоматизированного моделирования, так и экспериментально с помощью современных средств измерений СВЧ диапазона. Здесь автор продемонстрировал не только владение методами теоретического анализа нелинейных СВЧ цепей, но способностью к модельным исследованиям в пакетах автоматизированного моделирования и проектирования, а также проявил себя и как опытный экспериментатор, владеющий профессиональными навыками работы в практике СВЧ измерений.

При работе над темой диссертации Торгованов А.И. проявил творческую инициативу, владение современным инструментарием в области СВЧ техники, интерес к научно-исследовательской работе, самостоятельность и исключительную работоспособность.

Считаю, что диссертационная работа вносит полезный вклад в развитие теории и техники измерения волновых параметров рассеяния

нелинейный СВЧ цепей в полосковых линиях передачи, выполнена на высоком научном уровне, удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, а автор диссертации Торгованов А.И. заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук.

Научный руководитель: - профессор  
кафедры «Компьютерные технологии  
в проектировании и производстве»  
Нижегородского государственного  
технического университета им. Р.Е. Алексеева,  
д.т.н., проф., заслуженный работник  
высшей школы РФ

Сергей Михайлович Никулин

Адрес: г. Нижний Новгород,  
ул. Композитора Касьянова, д.2, кв. 64.  
тел.:8-910-399-56-95  
E-mail: nikulin-serg2006@yandex.ru

Подпись Никулина С.М. заверяю ученый секретарь

И.Н. Мерзляков