

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

к.т.н., старшего научного сотрудника Мартынова Олега Викторовича
на диссертацию Зебека Станислава Евгеньевича

«ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МИКРОВОЛНОВЫЕ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ
МЕТОДА ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.11.13 — Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий

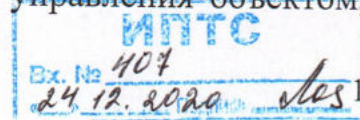
Общая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения. Список литературы содержит 84 наименования. Работа имеет объем 169 страниц машинописного текста и включает 48 иллюстраций.

Актуальность темы

Диссертационная работа С.Е. Зебека посвящена разработке нового метода измерения комплексного коэффициента отражения СВЧ узлов, ориентированного на применение в условиях встроенного микроволнового контроля комплексных параметров СВЧ трактов радиоэлектронных систем, технологических процессов и окружающей среды.

СВЧ электроника повсеместно используется в системах космического телевидения и радиосвязи, радиолокации, навигации, медицинском оборудовании и др. Параметры этих систем необходимо контролировать в процессе эксплуатации, поскольку при длительной эксплуатации происходит деградация оборудования. Средства встроенного контроля в этом случае обеспечивают принятие своевременных решений по осуществлению ремонта, а также предотвращают катастрофические отказы (например, электрический пробой в СВЧ тракте). Особенно актуальна задача встроенного контроля микроволновых трактов необслуживаемых объектов (космические аппараты, безэкипажные подвижные средства и др.). В этом случае результаты мониторинга состояния тракта, которые телеметрируются в центр управления объектом,



позволяют принимать оперативные меры (отключение неисправных блоков, включение резервных блоков, проведение процедуры согласования узлов тракта и пр.).

Микроволновый неразрушающий контроль параметров технологических процессов, а также параметров окружающей среды также требует применения компактных средств измерения комплексных коэффициентов отражения и передачи. Известно, что затухание и фазовый сдвиг СВЧ сигнала в контролируемых средах существенно зависит от таких параметров среды как проводимость, влажность, соленость, температура, давление и пр. Поэтому в настоящее время остаются актуальными вопросы проектирования простых микроволновых сенсоров, обеспечивающих измерение этих параметров.

Широкое применение для указанных выше приложений нашли измерительные устройства, построенные на основе анализа амплитудного распределения электромагнитной волны в линии передачи. Однако эти измерительные устройства обладают невысокой точностью измерений, поскольку их динамический диапазон квадратичного детектирования не превышает 40 дБ. Этот недостаток приводит к ощутимому уменьшению точности измерений, особенно при существенном изменении мощности в СВЧ тракте, что происходит в реальных условиях эксплуатации из-за деградации СВЧ генератора. Кроме того СВЧ диоды обладают существенной нестабильностью характеристик при воздействии на них дестабилизирующих факторов (температура, радиация и пр.). Поэтому автор поставил перед собой задачу - разработать новый метод измерения, на основе которого можно построить измерительные приборы, ориентированные на применение в условиях встроенного микроволнового контроля и обладающие улучшенными метрологическими характеристиками при малых массе, габаритах и себестоимости.

Оценка содержания диссертационной работы

В первой главе проводится достаточно полный обзор известных методов определения комплексного коэффициента отражения микроволновых узлов с

подробным анализом их недостатков. Формулируется цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена разработке и исследованию квадратурного способа измерения комплексного коэффициента отражения. Соискателем предложен способ измерения комплексного коэффициента отражения, основанный на методе прямого преобразования частоты путем квадратурного синхронного детектирования СВЧ колебаний, ответвляемых из первичной линии передачи. Данный способ за один измерительный цикл дает возможность получить две оценки модуля и аргумента комплексного коэффициента отражения, и обеспечивает расширение динамического диапазона уровня ответвляемых сигналов до 80 дБ, что обуславливает повышение точности измерения. Также разработаны новые измерительные устройства для определения модуля и аргумента комплексного коэффициента отражения, построенные на основе предложенного квадратурного способа измерения: однозондовое устройство; двухзондовое устройство; автоматические устройства на основе четырехзондовой измерительной линии (два варианта). Проведен анализ методической погрешности предложенного способа (из-за неидеальности свойств квадратурного детектора) и погрешности, вызываемой искажениями фазового распределения поля из-за неидеальности ненаправленного зонда.

В третьей главе описывается разработка алгоритмов обработки измерительной информации для автоматических измерительных устройств. Для автоматического измерителя с опорным каналом и СВЧ коммутатором сформированы две системы измерительных уравнений, позволяющие за один измерительный цикл определить две пары оценок измеряемых параметров как на основе амплитудного, так и фазового распределений поля. При этом получены аналитические формулы для расчета измеряемых параметров. Предложен также спектрометрический алгоритм решения, основанный на амплитудном распределении поля. Для автоматического измерителя с двумя квадратурными детекторами, обладающими инвариантными входами, сформирована система измерительных уравнений и рассмотрены два подхода к решению этой системы уравнений.

Первый подход – аналитическое решение (получены расчетные формулы для искомых параметров) предполагает отсутствие невязок в уравнениях измерительной системы. Второй подход – численное решение системы измерительных уравнений с минимизацией среднеквадратической ошибки при наличии невязок.

В четвёртой главе представлены результаты экспериментальных исследований. Проведена разработка макетных образцов двух измерительных установок. Осуществлена серия измерений фазового и амплитудного распределений поля в линии передачи при разных нагрузках, а также получены оценки погрешностей измерений с использованием как амплитудного, так и фазового распределений поля в линии передачи.

Научная новизна работы

Научная новизна состоит в следующем:

1. Предложен новый способ измерения комплексного коэффициента отражения, основанный на квадратурном синхронном детектировании СВЧ колебаний, ответвляемых из первичной линии передачи. Новизна подтверждается патентом РФ на способ измерения.

2. Разработаны математические модели измерительной процедуры в устройствах однозондового и двухзондового анализа, основанных на квадратурном способе измерения, и получены основные соотношения для расчетов модуля и аргумента комплексного коэффициента отражения на основе анализа как амплитудного, так и фазового распределений электромагнитной волны в линии передачи. Новизна подтверждается патентом РФ на полезную модель.

3. Проведен анализ и получены числовые оценки методической погрешности предложенного способа, вызываемой неидеальностью свойств квадратурного детектора и погрешности, вызываемой искажениями фазового распределения поля из-за неидеальности ненаправленного зонда, что позволило сделать вывод о возможности создания приборов встроенного контроля повышенной точности на основе предложенного способа измерения.

4. Предложены функциональные схемы автоматических измерительных устройств на основе дискретного анализа амплитудно-фазового распределения поля в микроволновом тракте с помощью четырехзондовой измерительной линии и разработаны и математические модели измерительной процедуры для случая наличия опорного канала и для случая применения двух квадратурных детекторов с инвариантными входами.

5. Разработан алгоритм аналитического решения системы измерительных уравнений для автоматического устройства с двумя квадратурными детекторами и получены соотношения, позволяющие определить модуль и аргумент ККО и уровень падающей мощности в тракте по результатам квадратурного детектирования при отсутствии невязок в уравнениях системы.

6. Разработан алгоритм численного решения системы измерительных уравнений, обеспечивающий минимизацию среднеквадратической ошибки при наличии существенных невязок в уравнениях измерительной системы. Алгоритм обладает высокой устойчивостью (робастностью) к ошибкам, возникающим при измерении напряжений на выходах квадратурных детекторов, и допускает нулевые начальные приближения на все искомые величины.

Достоверность результатов работы

Результаты работы обладают высокой степенью достоверности по следующим причинам:

1. Математические выкладки проведены тщательно с учетом основных физических эффектов, происходящих в СВЧ тракте. Сделанные при этом допущения не влияют на принципиальные результаты математического анализа.
2. Результаты теоретического анализа с высокой степенью точности совпадают с результатами экспериментальных исследований, проведенных в 4 главе диссертации.
3. Проведенные эксперименты осуществлялись с применением современного оборудования. В измерительных установках использованы современные комплектующие изделия, в том числе прецизионный

квадратурный демодулятор в интегральном исполнении типа ADL5382.

4. Экспериментальная оценка метрологических характеристик разработанных установок осуществлялась с применением аттестованных с высокой точностью образцовых нагрузок из набора образцовых мер полного сопротивления второго разряда ЭК9-180.

Практическая ценность работы

Практическая ценность исследований, проведенных в диссертации, определяется следующим:

1. Теоретические и экспериментальные результаты, полученные в диссертации убедительно доказывают возможность создания малогабаритных средств встроенного микроволнового контроля повышенной точности на основе квадратурного способа измерения, которые найдут широкое применение в различных приложениях: приборах встроенного контроля и диагностики СВЧ трактов радиоэлектронных комплексов; приборах неразрушающего микроволнового контроля параметров технологических процессов; приборах микроволнового контроля параметров окружающей среды и пр.
2. Разработанные принципы построения измерительных устройств и алгоритмы обработки измерительной информации позволяют создать методики проектирования приборов микроволнового контроля в различных диапазонах частот (вплоть до миллиметрового диапазона) в различном конструктивном исполнении (коаксиальная линия, металлический волновод, микрополосковая линия).
3. Разработанная в 4 главе схема квадратурного детектора с инвариантными входами позволяет при технической реализации автоматического прибора отказаться от опорного канала, что сокращает габариты и массу СВЧ сенсора и позволяет встраивать такой сенсор в труднодоступные участки СВЧ тракта.

Соответствие темы диссертации научной специальности

Тема диссертационной работы и ее содержательная часть соответствуют специальности 05.11.13 — «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», а именно пунктам 1, 2, 3, 6 паспорта специальности.

Замечания по работе

По работе имеются следующие замечания:

1. Теоретические результаты в диссертации получены в предположении об одномодовом режиме работы СВЧ линии передачи. В реальных условиях из-за наличия неоднородностей в тракте наблюдается возникновение высших мод, однако анализ влияния этого эффекта в диссертации не проведен.
2. В 4 главе диссертации (с. 119) зафиксирован экспериментальный факт того, что погрешность измерения при использовании фазового распределения несколько меньше, чем при использовании амплитудного распределения. Однако чем это вызвано и носит ли это системный характер не выяснено. Если это носит системный характер, то усреднение результатов может увеличить, а не уменьшить результирующую погрешность.
3. В четвертой главе диссертации допущена ошибка в нумерации таблиц: дважды повторяется номер таблицы 4.1.
4. В библиографическом списке встречаются нерабочие ссылки на электронные ресурсы.
5. В автореферате указано, что диссертация содержит 168 страниц, хотя на самом деле число страниц составляет 169.
6. В формуле (3.18) обозначение модуля комплексного коэффициента отражения не соответствует широко применяемому в диссертации обозначению.
7. В формулах (3.2) – (3.6) упущен индекс «k» в нижней части суммы, а в формулах (3.3) и (3.4) следовало в верхней части суммы указать «15», а не «16-1».

8. В тексте диссертации имеется ряд орфографических ошибок и опечаток.

Имеющиеся замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и не снижают ее научно-технической ценности в целом.

Заключение

Актуальность темы, степень обоснованности выводов и научных положений, достоверность и новизна результатов позволяют заключить, что диссертация Зебека Станислава Евгеньевича «ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МИКРОВОЛНОВЫЕ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ», представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, имеющей важное значение для области микроволнового контроля. Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ N 842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор Зебек Станислав Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 — Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Официальный оппонент, к. т. н., старший научный сотрудник ФГБУН «Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН»

О.В. Мартынов

«23» декабря 2020 г.

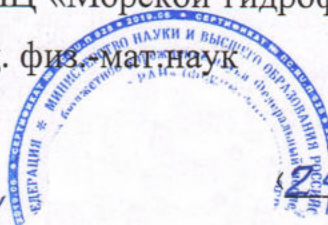
Тел.: +7 978 022-44-05

Адрес: ...299011, Севастополь, Капитанская, 2

E-mail: ...oleg.martynov.49@mail.ru

Подпись Мартынова О.В. заверяю

Ученый секретарь ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», канд. физ.-мат. наук



Д.В. Алексеев

«24» декабря 2020 г.

С отзывом ознакомлен

30.12.2020

— Зебек С.Е.

Сведения об официальном оппоненте
по диссертационной работе **Зебека Станислава Евгеньевича**
на тему **«Измерительные микроволновые устройства на основе метода прямого преобразования частоты»**

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.11.13 — Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий

Фамилия Имя Отчество оппонента	Мартынов Олег Викторович
Шифр и наименование специальностей, по которым защищена диссертация	05.11.13. Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий
Ученая степень и отрасль науки	Кандидат технических наук
Ученое звание	Старший научный сотрудник
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы оппонента	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ФГБУН ФИЦ МГИ РАН
Ведомственная принадлежность организации	Российская академия наук (РАН)
Структурное подразделение	Отдел оптики и биофизики моря
Почтовый индекс, адрес	299011, Севастополь, Капитанская, 2
Веб-сайт	mhi-ras.ru
Телефон	+79780224405
Адрес электронной почты	oleg.martynov.49@mail.ru
Список основных публикаций в рецензируемых научных изданиях, монографии за последние 5 лет по теме диссертации (не более 15 публикаций)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Е.Н. Корчёмкина, А.А. Латушкин, О.В. Мартынов. Оперативный метод контроля содержания взвеси и растворенного вещества в морской воде по спектральному показателю ослабления направленного света // В сборнике: Экология. Экономика. Информатика. Институт аридных зон, Южный научный центр РАН, Южный федеральный университет. Ростов-на-дону. 2016. С. 91-100. 2. Латушкин А.А., Мартынов О.В. Патент РФ №2605640 на изобретение: Способ определения спектрального показателя ослабления направленного света в

	<p>морской воде in situ. Опубликовано 27.12.2016, бюллетень №36.</p> <p>3. Корчёмкина Е.Н., Латушкин А.А., Мартынов О.В. Метод определения содержания взвеси в морской воде по измерениям показателя ослабления света in situ для верификации данных дистанционного зондирования // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2017. № 2. С. 26-31.</p> <p>4. Ли М.Е., Латушкин А.А., Мартынов О.В. Долговременная изменчивость прозрачности поверхностных вод Черного моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика 2018, Т.11, №3. – С. 40–46.</p> <p>5. Ли М.Е., Шибанов Е.Б., Мартынов О.В. Применение мощных светодиодов для одновременных измерений характеристик рассеяния излучения и флуоресценции в морской воде // Светотехника. – 2019, №2. – С.40-43. Дата публикации 19/04/2019</p> <p>6. Suslin, V.V., Latushkin, A.A., Martynov, O.V. Information capabilities of downwelling irradiance spectra of the upper water layer: Lake Baikal measurements // Proceedings of SPIE - the International Society for Optical Engineering. 2019. T. 11208, № . С. 112084S. DOI:10.1117/12.2540791</p> <p>7. Kudinov O.B., Martynov O.V., Lee R.I. Sounding spectral meter of fluorescence and light scattering: laboratory and field testing // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2020. Т. 13. № 2. С. 82-87.</p>
<p>Являетесь ли Вы работником ФБГНУ “Институт природно-технических систем” или ФГАОУ ВО “Севастопольский государственный университет” (в том числе по совместительству)?</p>	<p>Не являюсь</p>
<p>Являетесь ли Вы работником (в том числе по совместительству)</p>	<p>Не являюсь</p>

организации, где работает соискатель ученой степени или его научный руководитель?	
Являетесь ли Вы работником (в том числе по совместительству) организаций, где ведутся научно-исследовательские работы, по которым соискатель ученой степени является руководителем или работником организации-заказчика или исполнителем (соисполнителем)?	Не являюсь
Являетесь ли Вы членом Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования науки Российской Федерации?	Не являюсь
Являетесь ли Вы членом экспертных советов Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования науки Российской Федерации?	Не являюсь
Являетесь ли Вы членом диссертационного совета, принявшего диссертацию к защите?	Не являюсь
Являетесь ли Вы соавтором соискателя степени по опубликованным работам по теме диссертационного исследования?	Не являюсь

_____ / (подпись опп.)

Верно

Ученый секретарь ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», кандидат физ.-мат.наук

Алексеев Дмитрий Владимирович

«19» ноября 2020 г.

