

Утверждаю:

Проректор по научной деятельности

«КФУ им. В.И. Вернадского»

___ Кубышкин А.В.

_____ 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Физико-Технический институт (структурное подразделение)

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

на диссертационную работу

Зебека Станислава Евгеньевича

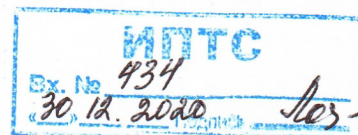
«ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МИКРОВОЛНОВЫЕ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ»,

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

Актуальность темы исследования. Диссертационная работа С.Е. Зебека посвящена совершенствованию измерителей комплексных параметров СВЧ узлов, ориентированных на применение в условиях встроенного контроля параметров микроволновых трактов радиотехнических цепей и технологических процессов.

В настоящее время для измерения параметров СВЧ узлов широко используют векторные анализаторы цепей. Недостатком таких приборов является очень высокая стоимость. Это препятствует их использованию в образовательной среде, а также в мелком и среднем бизнесе. Кроме того эти устройства имеют большие габариты и массу, что исключает возможность использовать их для целей встроенного микроволнового контроля параметров СВЧ трактов радиотехнических систем и комплексов.

Распространенной практикой является использование для встроенного контроля измерительных устройств, построенных на основе анализа амплитудного распределения электромагнитной волны в линии передачи. Такие устройства обладают невысокой точностью и стабильностью измерений, поскольку СВЧ диоды, применяемые в этих приборах, имеют малый динамический диапазон квадратичного детектирования (порядка



30...40 дБ), что приводит к значительному уменьшению точности измерений, особенно при изменении мощности в СВЧ тракте в широких пределах.

В диссертационной работе соискатель решает задачу повышения точности измерения комплексных параметров микроволновых трактов при помощи квадратурного детектирования. Ключевым моментом подхода является применение разработанного квадратурного способа измерения, за счет которого появляется возможность измерения комплексных параметров измеряемой нагрузки на основе как амплитудного, так и фазового распределений поля в СВЧ тракте.

Оценка содержания диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы, содержащего 84 наименований, и приложения. Работа имеет объем 169 страниц и включает 48 иллюстраций.

Во **введении** обсуждаются актуальность и новизна исследований, формулируется цель и основные результаты диссертации, представляются положения, выносимые на защиту.

Первый раздел посвящен обзору известных методов определения комплексных параметров микроволновых узлов и анализу их недостатков. В

Второй раздел посвящен разработке и исследованию квадратурного способа измерения комплексного коэффициента отражения. Предложен новый способ измерения комплексного коэффициента отражения, основанный на методе прямого преобразования частоты путем квадратурного синхронного детектирования высокочастотных колебаний, ответвляемых из первичной линии передачи (квадратурный способ измерения), что обеспечивает повышенную точность из-за двукратной избыточности и расширения динамического диапазона уровня ответвляемых сигналов до 70 дБ.

Разработаны новые измерительные устройства для определения модуля и аргумента комплексного коэффициента отражения, построенные на основе предложенного квадратурного способа. Также разработаны математические модели измерительных процедур, реализуемых в предложенных автоматических измерительных устройствах

Третий раздел посвящен разработке алгоритмов обработки измерительной информации. Реализованы однозондовый и двухзондовый принципы анализа амплитудного и фазового распределений поля в линии передачи с использованием квадратурного детектирования ответвляемых из первичного тракта СВЧ сигналов. Получены основные аналитические соотношения для расчета модуля и аргумента комплексного коэффициента отражения для однозондового и двухзондового измерительных устройств

В четвёртом разделе представлены результаты экспериментальных исследований. Проведена разработка макетных образцов двух измерительных установок. С использованием разработанных установок проведены множественные измерения параметров различных образцовых нагрузок на основе как фазового, так и амплитудного распределений поля в линии передачи. При этом получены числовые оценки погрешностей измерения и сделан вывод о возможности создания на основе предложенного метода приборов, обладающих высокой точностью, малыми габаритами, массой и стоимостью.

В Заключение приведены основные результаты и выводы диссертационной работы, среди которых необходимо отметить **наиболее значимые**:

- Предложен новый способ измерения ККО, основанный на прямом преобразовании частоты путем квадратурного синхронного детектирования ответвляемых из первичной линии передачи сигналов (квадратурный способ измерения). Способ обеспечивает расширение динамического диапазона изменения уровня мощности в тракте не менее чем на 30 дБ по отношению к известному способу, основанному на квадратичном амплитудном детектировании. Способ защищен патентом РФ;

- Разработаны новые измерительные устройства для определения модуля и аргумента комплексного коэффициента отражения, которые обеспечивают методическую погрешность измерения модуля и аргумента комплексного коэффициента отражения, не превышающую 0,54% и 0,2⁰ при фазовом анализе и 0,01% и 0,15⁰ при амплитудном анализе, а также дополнительное повышение точности измерения из-за усреднения оценок за счет избыточности (получен патент РФ на полезную модель);

- Проведено исследование влияния зонда на фазовое распределение электромагнитной волны в линии передачи и оценены погрешности измерения модуля и аргумента ККО, вызываемые этим фактором. В результате показано, что погрешности, которые вызываются влиянием зонда на структуру фазового распределения электромагнитной волны в линии передачи, для практически важных случаев не превышают 0,5 % по модулю и 2⁰ по аргументу;

- Разработан спектрометрический алгоритм обработки результатов в автоматическом измерителе с опорным каналом, основанный на применении дискретного преобразования Фурье к сформированной особым образом дискретной последовательности, состоящей из отсчетов амплитудного распределения электромагнитного поля в линии передачи, получаемого в результате квадратурной обработки. Алгоритм основан на определении

искомых параметров с использованием первой и четвертой гармоник спектра и обеспечивает повышение помехозащищенности измерительного канала и повышение точности за счет коррекции мультипликативной погрешности.

В приложении к диссертации приведены наглядные результаты математического моделирования в программных пакетах, примеры решений уравнений итерационными методами, а также акты внедрения результатов диссертационного исследования.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов диссертационной работы. Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается корректным математическим обоснованием предложенного метода измерения и принципов функционирования разработанных измерительных устройств, использованием современных программных средств математического моделирования, а также экспериментальными данными. Достоверность результатов также подтверждена соискателем в цикле численных и натурных экспериментов. Экспериментальные исследования метрологических характеристик основаны на сличении результатов измерений с параметрами образцовых мер полного сопротивления второго разряда, что позволяет сделать заключение о высокой степени достоверности полученных данных. Результаты исследования были представлены и обсуждены на семнадцати научно-технических конференциях. Ряд результатов внедрен на предприятиях и проверен на практике. Это позволяет заключить, что полученные в диссертационной работе результаты являются **достоверными и обоснованными**.

Научная и практическая значимость работы состоит в разработке квадратурного метода измерения, на основе которого можно создавать приборы повышенной точностью, малыми габаритами и стоимостью, предназначенные для применения в условиях встроенного микроволнового контроля параметров СВЧ трактов радиотехнических систем и технологических процессов. Необходимо подчеркнуть ряд моментов, усиливающих научную и практическую ценность работы:

- Предложен новый способ измерения комплексного коэффициента отражения, на основе метода прямого преобразования частоты путем квадратурного синхронного детектирования высокочастотных колебаний, ответвляемых из первичной линии передачи.

- Разработаны математические модели предложенного нового квадратурного способа измерения при однозондовом и двухзондовом анализе электромагнитного поля в линии передачи.

- Разработан спектральный алгоритм обработки измерительной информации на основе дискретного преобразования Фурье отсчетов амплитудного распределения электромагнитного поля в линии передачи.

- Предложены способы автоматизации измерительной процедуры на основе многозондовой измерительной линии и разработаны алгоритмы решения различных систем измерительных уравнений относительно искомых параметров.

Отметим, что результаты исследования уже были внедрены на предприятиях ИЦ «Омега», Инжинирингового центра изделий микро- и нанoeлектроники СевГУ, ООО «Марлин-Юг» и ООО «Уранис», а также в учебном процессе кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет».

Рекомендации по использованию результатов диссертации. Результаты исследований могут быть использованы при разработке приборов с высокими метрологическими характеристиками, малыми габаритами, массой и стоимостью, которые могут быть использованы для целей микроволнового встроенного контроля параметров СВЧ трактов разнообразных радиотехнических систем и технологических процессов, а также в образовательных организациях и промышленных предприятиях, разрабатывающих и производящих микроволновую аппаратуру.

Для использования полученных в диссертационной работе результатов рекомендуем ознакомиться с ними «АО НПО им. С.А.Лавочкина», АО «Ракетно-космический центр «Прогресс», АО «Концерн Радиоэлектронные технологии», АО «НПФ «Микран», Научно-исследовательский институт радиотехнических систем (НИИ РТС), а также другие предприятия и НИИ, деятельность которых связана с создания систем автоматического контроля и диагностики сложных радиотехнических систем и комплексов.

Диссертация Зебека С.Е. соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а именно:

- в диссертации изложены новые научные результаты и научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития методов анализа комплексных параметров микроволновых узлов;
- диссертация изложена понятным языком, обладает внутренним единством, демонстрирует личный вклад автора в науку;

- основные научные результаты опубликованы в 24 печатных работах, в том числе: 5 статей в журналах и изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ и приравненных к ним (п.10 Постановления Правительства РФ №723 от 30.07.2014 г.); 17 работ в материалах Международных конференций, одна из которых индексируется в SCOPUS; 2 патента РФ.
- Автореферат соответствует содержанию диссертации. Публикации автора отражают основные положения и выводы диссертации.
- В диссертации имеются все необходимые ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, в том числе – на научные работы соискателя.

По диссертации могут быть сделаны следующие **замечания**.

1. В диссертации и автореферате в ряде случаев I и Q составляющие названы как «квадратурные составляющие». На самом деле в квадратуре (сдвиг 90^0) находятся опорные сигналы, подаваемые на входы перемножителей квадратурного демодулятора. Правильно I и Q составляющие называть следующим образом: напряжения на выходах квадратурного демодулятора.

2. В работе представлен анализ отдельных составляющих погрешности измерения, однако теоретическая оценка суммарной погрешности отсутствует.

3. В работе в недостаточной мере отражена информация о характеристиках технических средств, с помощью которых проводились экспериментальные исследования. В частности, отсутствуют аттестационные паспорта на образцовые меры полного сопротивления, которые использовались для определения погрешностей измерений.

Отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертация Зебека Станислава Евгеньевича является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития методов анализа комплексных параметров микроволновых узлов.

Диссертация по содержанию и оформлению удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности

05.11.13 — Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Таким образом, диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, 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.

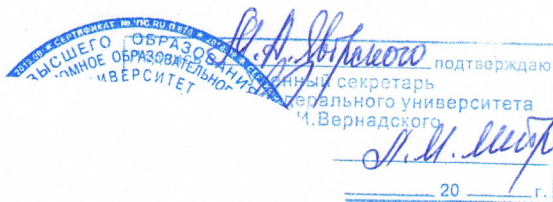
Отзыв составлен по результатам обсуждения диссертации Зебека С.Е. на заседании научно-технического семинара Физико-технического института (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

«18» декабря 2020 г.

Заместитель директора по
научной работе, к.ф.-м.н., доцент
М.А. Яворский

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»
295007, Республика Крым, г. Симферополь,
проспект Академика Вернадского, 4
(3652) 60-84-98, cf_university@mail.ru

Заверяю:



С отзывом ознакомлен

30.12.2020 -

→ / Зебек С.Е. /

Сведения о ведущей организации
 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

Полное наименование организации в соответствии с Уставом	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»
Сокращенное наименование организации в соответствии с Уставом	ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
Почтовый индекс, адрес организации	295007, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4
Веб-сайт	https://cfuv.ru/
Телефон	(3652) 60-84-98, (3652) 60-80-70
Адрес электронной почты	cf_university@mail.ru , phystech@cfuv.ru

Список основных публикаций работников структурного подразделения, в котором будет готовиться отзыв, по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций)

1. Starostenko V.V. A study of microwave radiation absorption in ultrathin conducting films / Starostenko V.V., Orlenson V.B., Mazinov A.S., Fitaev I.S.// Technical Physics – 2020. – V.65, № 8. – P. 1296-300.
2. Starostenko V.V., Orlenson V.B., Mazinov A.S., Akhramovich L.N. Quantum-Mechanical Approach to the Description of the Interaction between Microwave Radiation and Conducting Thin Films / Technical Physics Letters. 2020.
3. Breakdown features in functional devices of telecommunication systems / S.A. Zuev, A.S. Zuev, V.V. Starostenko, E.V. Grigoriev, A.S. Mazinov, E. P. Taran, I. Sh. Fitaev, V. B. Orlenson // 27th Telecommunications Forum, TELFOR 2019. 8971293. DOI: 10.1109/TELFOR48224.20
4. Gusev A.N., Mazinov A.S., Tyutyunik A.S., Gurchenko V.S. Spectral and conductive properties of film heterostructures based on fullerene-containing material and 4-methylphenylhydrazone N-isoamilisatine / Radioelektronika, Nanosistemy, Informacionnye Tehnologii, 2019.

5. Forsh P., Tameev A., Mazinov A., Gribkova O., Tedoradze M. Impedance Spectroscopy of Polyaniline Films Modified by Carbon Particles / Journal of Russian Laser Research, 2019.

6. Gusev A.N., Mazinov A.S., Shevchenko, A.I., Gurchenko V.S., Braga E.V. The Voltage–Current Characteristics and Photoelectric Effect of Fullerene C60–N-Isoamylisatin 4-Methylphenylhydrazone Heterostructures / Technical Physics Letters. 2019.

7. Арсеничев С.П. Особенности измерения оптических коэффициентов нанометровых пленок волноводными методами / Арсеничев С.П., Григорьев Е.В., Налогин А.Г., Иванов Р.Р., Орленсон В.Б., Старостенко В.В., Фитаев И.Ш., Таран Е.П. // Материалы 28-й международной Крымской конференции “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии” (КрыМиКо’2018). – Севастополь, 9 – 15 сентября 2018 г. – С. 1080-085.

8. Poletaev D. Broadband nanoantenna / D. Poletaev, B. Sokolenko, V. Voytitsky, A. Nudga // Conference proceedings of the 5th international school and conference on optoelectronics, photonics, engineering and nanostructures "Saint Petersburg open 2018". – Saint Petersburg, Russia, april 2 – 5, 2018. – P. 389-390.

9. Орленсон В.Б. Особенности преобразования электромагнитных волн в акустические в металлодиэлектрических структурах / Орленсон В.Б., Ахрамович Л. Н., Старостенко В.В // Материалы 28-й международной Крымской конференции “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии” (КрыМиКо’2018). – Севастополь, 9 – 15 сентября 2018 г. – С. 1080-1085

10. Sokolenko B. Optical vortex phase determination for nanoscale imaging / B. Sokolenko, N. Shostka, O. Karakchieva, D. Poletaev, V. Voytitsky, S. Halilov, A. Prisyazhniuk, A. Ilyasova, E. Kolosenko // journal of physics. – 2018. – vol. 1062, № 1. – P. 1-10.

11. Diffraction properties in the microwave range of structures with nanometer conductive films on amorphous dielectric substrates Sergei A. Zuev, Vladimir V. Starostenko, Evgeniy P. Taran, Sergei V. Shcherbakov, Sergei P. Arsenichev, Evgeniy V. Grigoriev, Ibraim Sh. Fitaev 26th Telecommunicationsforum TELFOR 2018 Serbia, Belgrade, November 20-21, 2018.

12. Timofeeva S.V. Greedy forwarding for hyperbolic space in MANET / Timofeeva S.V., Sarkisian D.M., Sukhov A.M., Zuev S. A. // 25th Telecommunications Forum, TELFOR 2017 Proceedings, № 1. – P. 1-4.

13. Zuev S.A., Kilessa G.V., Asanov E.E., Starostenko V.V., Pokrova S.V. Dependence of the conductivity on the active-region thickness in GaAs thin-film Schottky diodes / Semiconductors. 2016.