

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Куликова Александра Александровича «Неразрушающие методы и средства измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторах», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения (электрические измерения)

Мощные биполярные ВЧ и СВЧ транзисторы (МБТ) находят применение в выходных каскадах радиопередатчиков, где они работают в режимах, близких к предельным. При этом наличие положительной тепловой обратной связи в структуре МБТ приводит в определенных режимах работы к неустойчивости токораспределения с образованием шнура тока и «горячего пятна» и отказу транзистора. Этот механизм отказа является наиболее распространенным для данного класса полупроводниковых приборов. В этой связи диссертация А.А.Куликова, посвященная совершенствованию неразрушающих методов и средств выявления мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторов с пониженным значением напряжения шнурования тока является актуальной.

На основе обзора и анализа известных решений автором предложена усовершенствованная дискретная двухсекционная теплоэлектрическая модель МБТ с дефектами тепловой и электрофизической природы и показана возможность измерения напряжения шнурования по зависимости малосигнального коэффициента  $h_{12Б}$  внутренней обратной связи от коллекторного напряжения МБТ. Разработаны способы и устройства определения напряжения шнурования тока в электрических режимах, при которых еще не образуется «горячее пятно», что позволяет отнести их к неразрушающим. В основе предложенных способов лежит использование в качестве информативного параметра переменного напряжения на эмиттерном переходе испытуемого МБТ при подаче на коллектор малого переменного напряжения. Научно-техническая новизна предложенных решений подтверждена двумя патентами на изобретения. Большой объем экспериментальных исследований на серийных приборах подтверждает правильность аналитических соотношений. Достоверность способов проверена также сравнительными измерениями на открытых структурах МБТ с использованием ИК-микроскопа.

Важным результатом работы является оценка методической погрешности измерения напряжения шнурования тока предложенными способами, которая по оценкам автора составила менее 10%, что является хорошим результатом для косвенного метода измерения.

Научный интерес представляют исследования влияния теплового сопротивления МБТ на уровень линейных и нелинейных искажений усилительного каскада, что может стать темой отдельного исследования.

Результаты работы достаточно полно отражены в публикациях в рецензируемых научных журналах.

Практическая значимость работы подтверждается использованием разработанной автором установки на АО «НПП «Завод Искра» для выборочного контроля качества выпускаемых приборов и апробацией предложенных способов в Ульяновском филиале ИПЭ им. В.А.Котельникова РАН.

В качестве замечания можно указать следующее:

1) Рассмотренные в теплоэлектрической модели дефекты сводятся к разнице входных сопротивлений и тепловых сопротивлений частей структуры транзистора, хотя в реальных приборах может быть существенным разброс и других параметров, например коэффициента передачи тока.

2) В автореферате не указано, на какой конкретно диапазон частот (ВЧ и СВЧ) распространяются выводы.

Указанное замечание не снижает научной ценности и практической значимости представленных в работе результатов.

Считаю, что диссертация Куликова А.А. представляет законченную научно-квалификационную работу, содержит новое решение важной задачи разработки неразрушающих средств измерения напряжения шнурования тока в мощных ВЧ и СВЧ транзисторах и отвечает требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Куликов Александр Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения по видам измерений (электрические измерения).

Профессор кафедры «Электронные приборы и устройства»,  
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический  
университет им. Гагарина Ю.А.»  
д.т.н., профессор

А.А. Захаров

Подпись Захарова А.А. заверяю:  
Ученый секретарь Ученого совета  
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический  
университет им. Гагарина Ю.А.»

О.А. Салтыкова

Захаров Александр Александрович, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77, тел. (8845) 99-88-23, e-mail [zaharov@stu.ru](mailto:zaharov@stu.ru), ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.», профессор кафедры «Электронные приборы и устройства»/



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Куликова Александра Александровича «Неразрушающие методы и средства измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторах», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения (электрические измерения).

Диссертационная работа Куликова А.А. посвящена решению важной и сложной задачи, имеющей практическое значение, – разработке неразрушающих способов и средств измерения критически важного для мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторов параметра – напряжения шнурования тока в активном режиме. Эффект теплоэлектрической неустойчивости токораспределения в приборных структурах существенно ограничивает предельные возможности и надежность этого класса приборов. На решение этой задачи направлены усилия большого числа исследователей, однако большинство известных методов имеют недостаточную чувствительность для определения искомого параметра без введения прибора в опасный режим. Автору, на наш взгляд, удалось значительно продвинуться в решении этой актуальной задачи.

Новыми и ценными в научном и практическом отношении результатами работы являются:

- установленная путем численного и аналитического моделирования токораспределения в структуре мощного биполярного транзистора с дефектами связь крутизны зависимости малосигнального коэффициента внутренней обратной связи в схеме с общей базой от коллекторного напряжения с размером дефекта и напряжением шнурования тока;

- предложенные и реализованные автором неразрушающие способы и устройства измерения напряжения шнурования тока по крутизне указанной выше зависимости.

Предложенные способы защищены патентами на изобретения, прошли экспериментальную проверку на достаточно представительных выборках серийных приборов и показали хорошее соответствие с известными методами. Оценки относительной методической погрешности предложенных способов показали, что она может быть снижена до нескольких процентов при соответствующем выборе режимов измерения. С использованием разработанных способов автор получил ряд новых зависимостей напряжения шнурования тока биполярных СВЧ транзисторов от тока и температуры, представляющих большое значение для разработчиков ответственной аппаратуры связи.

Содержание автореферата свидетельствует, что в работе получены важные результаты, которые по своей актуальности, научной и практической значимости, новизне, уровню апробации отвечают требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по техническим наукам. Решаемые в работе задачи и полученные результаты соответствуют паспорту заявленной специальности. Результаты работы достаточно полно отражены в публикациях и прошли хорошую апробацию на представительных профильных конференциях

К достоинствам работы относится ее практическая направленность, что подтверждается использованием результатов на АО «НПП «Завод «Искра» и в УФИРЭ им. В. А. Котельникова РАН.

По материалам автореферата можно сделать следующие замечания:

1) В формулировке новизны вместо коэффициента  $h_{12Б}$  указан коэффициент  $h_{21Б}$ .

2) В четвертой главе автор рассматривает влияние тепловых параметров СВЧ транзисторов на характеристики НЧ усилителей мощности, тогда как больший интерес представляют характеристики СВЧ-усилителей.

3) В формулах (23) (24) не раскрыт ряд обозначений.

Указанные замечания не оказывают влияние на научную новизну и практическую ценность диссертации.

В целом диссертационная работа Куликова А.А. удовлетворяет всем критериям Положения о присуждении ученых степеней (утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения (электрические измерения).

Профессор кафедры «Автоматика и телемеханика»  
Южно-Российского государственного политехнического  
университета (НПИ) имени М.И. Платова,  
доктор технических наук, профессор

Лачин Вячеслав Иванович  
5 декабря 2018г.

Подпись профессора Лачина В.И. удостоверяю:  
Ученый секретарь ученого  
совета ЮРГПУ(НПИ)

Н.Н. Холодкова

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический  
университет (НПИ) имени М.И. Платова»

Адрес: 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск,  
ул. Просвещения, 132, ЮРГПУ(НПИ)

Телефон: 8-9185201252

E-mail: lachinv@mail.ru

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Куликова Александра Александровича на тему «Неразрушающие методы и средства измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторах», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 «Приборы и методы измерения по видам измерения (электрические измерения)».

Мощные биполярные ВЧ и СВЧ транзисторы (МБТ) применяются в качестве активных элементов усилителей мощности современных устройств связи: телевизионных и радиовещательных передатчиков, ретрансляторов, радаров, базовых станций сотовой системы связи и др. Практика показывает, что мощные ВЧ и СВЧ транзисторы являются наименее надежными полупроводниковыми элементами по ряду причин, связанных, в первую очередь, с напряженными электрическим и тепловым режимами работы. Наиболее опасным режимом работы МБТ, в большинстве случаев приводящим к их отказам, является режим шнурования тока с образованием так называемого «горячего пятна». В этой связи важной является задача повышения надежности устройств, использующих в своем составе мощные биполярные ВЧ и СВЧ транзисторы, за счет отбраковки на этапе выходного производственного контроля дефектных приборов, с пониженным напряжением шнурования. С учетом вышеизложенного диссертация А. А. Куликова, направленная на совершенствование способов и средств неразрушающего контроля качества мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторов по значению напряжения шнурования тока является актуальной.

В диссертации разработана аналитическая теплоэлектрическая модель распределения тока в структурах МБТ с дефектами электрофизической и теплофизической природы; разработаны неразрушающие способы измерения напряжения шнурования тока МБТ без введения транзистора в режим «горячего пятна» по значениям зависимости амплитуды переменной составляющей напряжения на эмиттерном переходе от величины коллекторного напряжения и автоматизированные устройства, их реализующие; выполнена экспериментальная апробация разработанных способов и средств на представительных выборках серийно выпускаемых ВЧ и СВЧ транзисторов в широком температурном диапазоне. Достоверность результатов косвенных измерений подтверждена прямыми измерениями локальной температуры транзисторной структуры с помощью инфракрасного микроскопа.

Важным достоинством работы является большой объем проведенных экспериментальных исследований, подтверждающих правильность и обоснованность разработанных теоретических положений. Научная значимость работы подтверждается публикациями в рецензируемых научных журналах. Практическая значимость работы подтверждается использованием результатов на предприятии АО «НПП «Завод «Искра»» для выборочного контроля качества выпускаемых МБТ и в Ульяновском филиале Института радиотехники и

электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук при проведении научно-исследовательских работ.

Диссертационная работа А. А. Куликова выполнена на высоком научно-техническом уровне, тематика и содержание соответствуют требованиям паспорта специальности 05.11.01, результаты работы достаточно полно отражены в публикациях.

В качестве недостатков и замечаний можно указать следующее:

1. Представленное на рис. 16 автореферата распределение транзисторов КТ903А по величине напряжения шнурования тока в интегральной форме является малоинформативным. Более наглядным и общепринятым являлось бы представление распределения в виде плотности вероятности или в виде гистограммы.

2. В п. 5 основных результатов работы утверждается, что сравнение результатов косвенного измерения напряжения шнурования тока МБТ разработанными способами с результатами измерения локальной температуры транзисторной структуры с помощью ИК-микроскопа OPTOTHERM показали хорошее совпадение, однако в автореферате численные результаты сравнения не представлены.

Указанные недостатки не снижают ценности полученных результатов.

Считаю, что диссертация А. А. Куликова соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 «Приборы и методы измерения по видам измерения (электрические измерения)».

Профессор кафедры телекоммуникаций  
и радиотехники МИРЭА - Российского  
технологического университета  
к.т.н., профессор

Н.А. Трефилов

Подпись Трефилова Н.А. заверяю:

начальник  
кадров

Филатенко Л.Г.

Трефилов Николай Александрович.

Адрес: просп. Вернадского, д. 78, Москва, 119454, «МИРЭА – Российский технологический университет»

тел.:(499) 215-65-65 доб. 1140, 8-909-159-7156.

e-mail: trefilov@mirea.ru.

## Отзыв

на автореферат диссертации Куликова Александра Александровича  
**«Неразрушающие методы и средства измерения напряжения шнурования тока  
в мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторах»**,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.11.01 – «Приборы и методы измерения (по видам измерений),  
электрические измерения»

Нарастающая потребность промышленности в надежных мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторах (МБТ), работающих в жестких электрических режимах в широком температурном диапазоне и при большом уровне рассеиваемой мощности, делает **актуальными** поисковые и фундаментальные работы, направленные на определение границ областей их безопасной работы (ОБР), т. к. выход режимов работы транзисторов за ее границы даже на короткое время крайне нежелателен.

**Новизна** защищаемых Куликовым А.А. научных результатов определяется тем, что им на основе развитой в диссертационной работе теплоэлектрической модели МБТ разработаны **новые** способы и основанные на них устройства определения и измерения значения предельного коллекторного напряжения, при котором режим транзистора выходит за границы ОБР.

Не вызывает сомнений и **практическая значимость** этой работы, заключающаяся в том, что разработанные способы и автоматизированные устройства для определения границ ОБР мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторов могут быть использованы и **используются (АО «НПП «Завод «Искра»)** для технологического, входного и выходного контроля качества продукции предприятий-изготовителей МБТ.

Основное содержание диссертации опубликовано в 6 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК, 22 тезисах докладов на Международных, Всероссийских и региональных конференциях. Результаты работы защищены двумя патентами на способы определения границ ОБР ВЧ и СВЧ МБТ.

**Обоснованность и достоверность** основных научных положений, выносимых диссертантом на защиту, подтверждается их непротиворечием существующим физическим представлениям, апробацией результатов на значительном числе научных конференций, практической проверкой полученных результатов и использовании разработанной установки УИПП-1М на одном из предприятий-изготовителей МБТ.

Оценивая по автореферату диссертацию как научную квалификационную работу, необходимо отметить, что в ней подводятся итоги обширного исследования, выполненного автором и его сотрудниками. Сделанные Куликовым А.А. обобщения и

выводы, их реализация позволяют рассматривать диссертацию как существенный вклад не только в решение актуальной проблемы «Разработка новых неразрушающих способов определения границ ОБР мощных ВЧ и СВЧ биполярных транзисторов», но и вклад в разработку неразрушающих способов определения границ ОБР мощных СВЧ транзисторов, светоизлучающих и других устройств на наногетероструктурах.

В качестве замечаний по содержанию и оформлению автореферата диссертации можно отметить следующие:

1. Соискателем предложены формулы (14), (21), по которым определяется Укл, но из каких физических или математических соображений они получены по тексту автореферата понять нельзя.
2. В автореферате не приводится описаний (даже кратких) ни алгоритма, ни работы блока, реализующего измерение Укл, см. стр. 14.
3. Судя по осциллограммам, приведенным на рисунках 12 и 14, при переходе МБТ в режим с горячим пятном, наблюдается очень резкий рост (почти внезапный)  $U_{эб}(U_{к})$ , поэтому не удивительно, что расчетные значения Укл всегда больше экспериментальных, см. таблицу 1. Поэтому, на мой взгляд, расчетную формулу надо было бы подкорректировать (может быть и модель МБТ).

Тем не менее, высказанные замечания существенно не снижают общего положительного впечатления от работы.

Считаю, что диссертационная работа Куликова А.А. «Неразрушающие методы и средства измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторах» соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – «Приборы и методы измерения (по видам измерений)», а ее автор заслуживает присуждения этой степени.

Доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры конструирования  
узлов и деталей РЭА (КУДР) ТУСУР  
10.12.2018 г.

*Еханин*

/Еханин С.Г./

Подпись *Еханина С.Г.*

УДОСТОВЕРЯЮ

Ученый секретарь

*Е.В. Прокопьев*  
Е.В. Прокопьев





## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Куликова Александра Александровича на тему «Неразрушающие методы и средства измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторах», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения по видам измерения (электрическое измерение)

Биполярные и гетеробиполярные ВЧ и СВЧ транзисторы относятся к классу наименее надежных полупроводниковых приборов, так как работают в режимах близких к критическим при большом уровне рассеиваемой мощности. В результате действия положительной тепловой обратной связи электрический ток в структуре мощных транзисторов стягивается в узкий шнур, что приводит к появлению критической ситуации. Значения тока и напряжения коллектора определяют одну из границ безопасной работы транзистора. Определение граничных условий безопасной работы мощных биполярных транзисторов является важной и сложной задачей.

Существующие методы имеют ограниченную чувствительность и позволяют регистрировать информативные сигналы, свидетельствующие о локализации тока в структуре прибора, только при образовании «горячих пятен». В связи с этим актуальной проблемой является разработка неразрушающих методов и средств измерения напряжения шнурования тока в структурах мощных биполярных транзисторов без введения структур приборов в критические режимы. Эта задача успешно решена в диссертационной работе А.А. Куликова.

В качестве замечания по работе можно отметить недостаточно полный обзор зарубежной научной литературы, посвященной исследованиям биполярных и гетеробиполярных ВЧ и СВЧ транзисторов, хотя зарубежные ученые работают в этой области в течение нескольких последних десятилетий.

Это замечание не влияет на достоверность и научную новизну основных результатов диссертационной работы, практическая значимость которых не вызывает сомнения. Работа выполнена на актуальную тему, на высоком профессиональном уровне, и является логически связанным, законченным научным трудом.

Считаю, что Куликов Александр Александрович достоин присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения по видам измерения (электрическое измерение).

Заведующий кафедрой систем автоматизированного проектирования  
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева»,  
доктор технических наук (специальность  
05.09.03 – Электротехнические комплексы  
и системы, включая их управление и  
регулирование), профессор

тел. 8(8342)270289,

e-mail: [belovvf@mail.ru](mailto:belovvf@mail.ru)

адрес: 430005, Саранск, ул. Большевикская, д. 68,

факультет математики и информационных технологий МГУ им. Н.П. Огарева,  
кафедра систем автоматизированного проектирования, ауд. 417



В. Ф. Белов

12.12.2018г.

### Отзыв

на автореферат диссертации Куликова Александра Александровича на тему «Неразрушающие методы и средства измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ-транзисторах», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 «Приборы и методы измерения по видам измерения (электрические измерения)».

Разработка новых неразрушающих методов и средств измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ-транзисторах - задача весьма актуальная, учитывая, что данные приборы широко используются в устройствах связи и инфокоммуникаций различного назначения.

Известно, что в результате действия положительной тепловой обратной связи электрический ток в мощных биполярных ВЧ и СВЧ-транзисторах стягивается в узкий шнур, в результате в кристалле транзистора образуется т.н. «горячее пятно», вызывающее тепловой пробой и катастрофический отказ прибора. Существующие методы измерения тепловой границы области безопасной работы имеют ограниченную чувствительность и не позволяют регистрировать образования «горячего пятна».

Поэтому задача повышения чувствительности и точности неразрушающих методов и средств контроля, решаемая в диссертации, весьма своевременна и актуальна.

Автором подробно изучен объект исследования, представлен большой объем экспериментальных данных, разработана теплоэлектрическая модель токораспределения в структурах приборов и представлены формулы расчета напряжения шнурования тока, способы и устройства для измерения шнурования тока по значениям коллекторного напряжения, расчетные формулы оценки измерений.

Научная новизна исследования состоит в разработке дискретной двухэлементной теплоэлектрической модели мощных биполярных ВЧ и СВЧ-транзисторах, новых способов и устройства измерения шнурования тока в приборах.

Практическая значимость диссертации определяется тем, что разработанные в диссертационном исследовании способы и автоматизированные устройства для измерения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ-транзисторах могут быть использованы для технологического и выходного контроля качества продукции на предприятиях – производителях приборов, а также на входном контроле предприятий-изготовителей радиоэлектронной аппаратуры.

Вместе с тем следует отметить некоторые недостатки, присутствующие в диссертации. Следовало бы, при определении зависимости шнурования тока от температуры корпуса расширить температурный диапазон до значений  $+120^{\circ}\text{C}$ , что позволило бы существенно повысить точность и практическую ценность методики при отбраковке потенциально ненадежных приборов.

Однако, данное замечание не снижает научную и практическую ценность исследования.

Судя по автореферату, исследования Куликова Александра Александровича на тему «Неразрушающие методы и средства измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ-транзисторах» удовлетворяют требованиям п.9 «Положение о присуждении научных степеней», а ее автор заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 «Приборы и методы измерения по видам измерения (электрические измерения)».

Первый заместитель  
генерального директора  
АО «РНИИ «Электронстандарт»,  
кандидат физико-математических наук  
(диссертация по специальности 01.04.08)

  
Р.Г. Левин

Главный специалист,  
к. э. н., доцент  
(диссертация по специальности 08.00.05)

  
И.М. Чангли

АО «РНИИ «Электронстандарт»  
Адрес: 196006, Санкт-Петербург, ул. Цветочная, д. 25, корпус 3.  
Телефон (812) 676-29-29.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Куликова Александра Александровича «Неразрушающие методы и средства измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения (электрические измерения)

Мощные биполярные ВЧ и СВЧ транзисторы находят применение в аппаратуре связи и телекоммуникаций как активные элементы, обеспечивающие усиление мощности в L, S и X диапазонах. Для этого класса приборов характерно наличие положительной тепловой обратной связи, которая при определенных соотношениях тока и коллекторного тока и напряжения приводит к неустойчивости токораспределения в приборных структурах, стягиванию тока в узкий шнур, образованию локальных перегретых областей и отказу приборов. Значения этих критических параметров режима во многом определяются наличием дефектов в структуре и конструкции прибора и могут использоваться для отбраковки дефектных изделий. В связи с этим тема диссертации А.А. Куликова, посвященной разработке неразрушающих методов и средств измерения параметров биполярных транзисторов, является актуальной.

Новыми научными результатами работы являются:

- двухсекционная теплоэлектрическая модель мощного биполярного транзистора с дефектами;
- аналитические выражения, устанавливающие связь крутизны зависимости тепловой составляющей малосигнального коэффициента внутренней обратной связи в схеме с общей базой от коллекторного напряжения с размером дефекта и напряжением шнурования тока мощного биполярного транзистора;
- защищенные патентами на изобретения новые неразрушающие способы и устройства измерения напряжения шнурования тока биполярного транзистора.

Существенно, что относительная методическая погрешность измерения напряжения шнурования тока предложенными способами при определенном выборе режимов измерения не превышает 10%, что вполне приемлемо для промышленного применения разработанных способов. К достоинствам работы относится ее практическая направленность, что подтверждается использованием результатов на АО «НПП «Завод «Искра» и в УФИРЭ им. В. А. Котельникова РАН.

Решаемые в работе задачи и полученные результаты соответствуют паспорту заявленной специальности. Результаты работы достаточно полно отражены в 6 публикациях в профильных журналах из Перечня ВАК, в том числе в двух журналах индексируемых в Scopus и апробированы на представительных научных конференциях.

Судя по автореферату, в работе получены новые научные результаты, которые можно квалифицировать как новое решение важной технической задачи контроля параметров современной электронной компонентной базы СВЧ.

В целом автореферат позволяет сделать вывод, что диссертационная работа А.А. Куликова соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения (электрические измерения).

Директор Саратовского филиала ФГБУН

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,

д.ф.-м.н., профессор



Филимонов Ю.А.

Подпись Филимонова Ю.А. заверяю:

Ученый секретарь ученого совета Саратовского филиала ФГБУН Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, д.ф.-м.н.,

Селезнев Е.П.



01.12.2018 г.



Филимонов Юрий Александрович, 410019, г. Саратов, ул. Зеленая, д. 38, СФ ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН тел./факс (8452) 27-41-01, e-mail [yuri.a.filimonov@gmail.com](mailto:yuri.a.filimonov@gmail.com)