

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.277.01,  
СОЗДАНОГО НА БАЗЕ ФГБОУ ВО «УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 28.12.2018 № 16

О присуждении Куликову Александру Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Неразрушающие методы и средства измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторах» по специальности 05.11.01 «Приборы и методы измерения по видам измерения (электрические измерения)» принята к защите 24.10.2018 г. протокол № 12 диссертационным советом Д 212.277.01 на базе ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, приказ № 105н/к от 11.04.2012.

Соискатель Куликов Александр Александрович 1985 года рождения, в 2008 году соискатель окончил магистратуру Ульяновского государственного технического университета; обучается в целевой аспирантуре ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»; работает в Ульяновском филиале ФГБУН Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук в должности ведущего инженера.

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» на базовой кафедре «Радиотехника, опто- и наноэлектроника».

Научный руководитель – доктор технических наук, Сергеев Вячеслав Андреевич, директор Ульяновского филиала федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук.

Официальные оппоненты: *Мещеряков Сергей Александрович*, доктор технических наук, доцент, начальник лаборатории Федерального автономного учреждения «Государственный научно-исследовательский испытательный институт проблем технической защиты информации Федеральной службы по техническому и экспортному контролю», *Новиков Сергей Геннадьевич*, кандидат технических наук, начальник лаборатории твердотельной электроники Научно-исследовательского технологического института им. С.П. Капицы Ульяновского государственного университета дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» в своем положительном заключении, подписанном С.И. Рембейкой, д.ф.-м.н., профессором, заведующим кафедрой «Полупроводниковая электроника и наноэлектроника» и И.Г. Дроздовым, д.т.н., профессором проректором по научной работе указала, что диссертация Куликова А.А. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной задачи совершенствования методов и средств измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторах для целей диагностики их качества, соответствует требованиям ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 - Приборы и методы измерения по видам измерения (электрические измерения).

Соискатель имеет 31 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации 30 работ, в том числе опубликованных в изданиях их перечня ВАК – 6 статей, и 2 патента на изобретения. Общий объем опубликованных работ 6,8 п. л. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Сергеев В.А., Куликов А.А., Тарасов Р.Г., Тетенькин Я.Г. Установка для измерения напряжения шнурования тока в структурах мощных ВЧ- и СВЧ биполярных транзисторов // Автоматизация процессов управления. – 2017. - №3. – С. 96-102.

2. Сергеев В.А., Куликов А.А. Неразрушающий метод определения напряжения шнурования тока в мощных ВЧ и СВЧ биполярных транзисторах // Известия вузов. Электроника. – 2014. – №4. – С. 46-53.

3. Сергеев В.А., Дулов О.А., Куликов А.А. Контроль однородности токораспределения в биполярных транзисторах по зависимости коэффициента внутренней обратной связи от коллекторного напряжения // Известия вузов. Электроника. – 2009. – №2. – С.10–16.

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов; все отзывы положительные.

**1. ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.».** Отзыв подписан профессором кафедры «Электронные приборы и устройства», д.т.н., профессором **А. А. Захаровым**. **Замечания:** 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.

**2. «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск).** Отзыв подписан профессором кафедры «Автоматика и телемеханика», д.т.н., профессором **В.И. Лачиным**. **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.

**3. ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (МИРЭА)» (г. Ульяновск).** Отзыв подписан профессором кафедры телекоммуникаций и радиотехники, к.т.н. профессором **Н.А. Трефиловым**. **Замечания:** 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.

**4. ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР).** Отзыв подписан профессором кафедры конструирования узлов и деталей РЭА, д.ф.-м.н. **С.Г. Еханиным**. **Замечания:** 1) Соискателем предложены формулы (14), (21), по которым определяется  $U_{кл}$ , но из каких физических или математических соображений они получены по тексту автореферата понять нельзя. 2) В автореферате не приводятся описаний (даже кратких) ни алгоритма, ни работы блока, реализующего измерение  $U_{кл}$ , 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)  $U_{эб}(U_{кб})$ , поэтому не удивительно, что расчетные значения  $U_{кл}$  всегда больше эксперимен-

тальных, см. таблицу 1. Поэтому, на мой взгляд, расчетную формулу надо было бы подкорректировать (может быть и модель МБТ).

**5. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева».** Отзыв подписан заведующим кафедрой систем автоматизированного проектирования, д.т.н., профессором **В.Ф. Беловым**. **Замечания:** 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.

**6. АО «РНИИ «Электронстандарт» (г. Санкт Петербург).** Отзыв подписан заместителем генерального директора к.ф.-м.н. Р.Г. Левиным и главным специалистом, к.э.н. доцентом **И.М. Чангли**. **Замечания:** Следовало бы, при определении зависимости напряжения 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.

**7. Саратовский филиал ФГБУН Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук.** Отзыв подписан директором филиала, д.ф.-м.н., профессором **Ю.А. Филимоновым**. **Замечаний нет.**

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области исследования по теме диссертации, подтверждаемой публикациями в рецензируемых научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований **разработаны:**

- дискретная двухсекционная теплоэлектрическая модель мощных биполярных транзисторов (МБТ) с дефектами тепловой и электрофизической природы;

- новый способ и устройство измерения напряжения шнурования тока в МБТ при заданном эмиттерном токе по значениям малосигнального коэффициента  $h_{12Б}$  внутренней обратной связи, измеренным при трех значениях коллекторного напряжения до образования «горячего пятна» в приборной структуре;

- новый способ и устройство определения напряжения шнурования тока в МБТ при заданном эмиттерном токе по значениям коллекторного напряжения, измеренным при двух заданных значениях коэффициентов превышения характеристики  $\tilde{U}_{эБ}(U_K)$  ее

начального уровня до образования «горячего пятна» в приборной структуре.

- модернизированная установка УИТП-1М для измерения теплоэлектрических характеристик и отбраковки дефектных и потенциально ненадежных МБТ по значению напряжения шнурования тока;

**предложен** алгоритм определения напряжения шнурования тока в МБТ по крутизне характеристики  $\tilde{U}_{ЭБ}(U_K)$  на ее начальном участке

**доказано, что:**

- характер и крутизна зависимости малосигнального коэффициента  $h_{12Б}$  внутренней обратной связи МБТ в схеме с общей базой от коллекторного напряжения  $U_{КБ}$  определяется типом и размером дефекта; при этом, чем больше дефект, тем больше крутизна зависимости  $h_{12Б}(U_{КБ})$  на ее начальном участке;

- температурная зависимость напряжения шнурования тока в мощных ВЧ и СВЧ транзисторов в диапазоне температур корпуса прибора от  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$  имеет немонотонный характер, при этом значение напряжения шнурования тока изменяется на 15-20% и при некоторой критической температуре корпуса принимает минимальное значение.

**Теоретическая значимость** исследования обоснована тем, что:

**доказано:**

- что характер и крутизна зависимости малосигнального коэффициента  $h_{12Б}$  внутренней обратной связи МБТ в схеме с общей базой от коллекторного напряжения  $U_{КБ}$  определяется типом и размером дефекта; при этом, чем больше дефект, тем больше крутизна зависимости  $h_{12Б}(U_{КБ})$  на ее начальном участке;

- что методическая погрешность измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторах предложенными способами даже при незначительном (5-10%) изменении  $\tilde{U}_{ЭБ}(U_K)$  в заданном диапазоне изменения коллекторного напряжения не превышает 10 %:

**изложены:** результаты моделирования токораспределения в структурах МБТ с дефектами тепловой и электрофизической природы на основе дискретной двухсекционной теплоэлектрической модели; результаты сравнительных измерений напряжения шнурования тока в МБТ предложенными способами и с использованием ИК-микроскопа;

**изучены** источники методических погрешностей при измерении напряжения шнурования тока в МБТ предложенными способами;

**проведена модернизация** установки для измерения теплоэлектрических характеристик и отбраковки дефектных и потенциально ненадежных мощных биполярных транзисторов путем расширения диапазонов параметров режима измерения по току и напряжению и с повышением точности.

**Значение** полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены:**

- на АО «НПП «Завод «Искра» – модернизированная установка УИТП-1М для измерения теплоэлектрических характеристик и отбраковки дефектных и потенциально ненадежных МБТ по значению напряжения шнурования тока;

- при выполнении проекта «Система мониторинга необслуживаемых телевизионных передатчиков» по Программе УМНИК-2009 и проекта «Диагностика качества мощных СВЧ транзисторов по тепловым характеристикам» по гранту РФФИ №18-47-730024 – неразрушающие способы и устройства измерения напряжения шнурования тока МБТ;

- неразрушающие способы и устройства измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторов проходят апробации в УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН;

**определены** возможности и условия применения предложенных способов и устройств измерения для диагностики качества мощных ВЧ и СВЧ транзисторов;

**создана** методическая основа для повышения достоверности и эффективности неразрушающего контроля качества мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторов;

**представлены** новые экспериментальные результаты измерения напряжения шнурования тока в широком диапазоне температуры.

**Оценка достоверности** результатов исследования выявила что:

**результаты получены** с методически правильным применением поверенных измерительных приборов с известными метрологическими характеристиками;

**идея базируется** на использовании связи крутизны зависимости малосигнального коэффициента внутренней обратной связи МБТ от коллекторного напряжения с напряжением шнурования тока;

**использованы** известные положения теории теплоэлектрической неустойчивости в мощных биполярных транзисторах и теории погрешностей;

**установлено** соответствие теоретических (модельных) положений с результатами

экспериментальных исследований;

**использованы** современные методы компьютерного моделирования и обработки результатов измерений.

**Личный вклад соискателя** состоит в его непосредственном участии на всех этапах выполнения исследования, включая разработку и изготовление экспериментальных установок; получение и систематизацию данных, апробацию результатов исследования, подготовку публикаций. Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований проводился при непосредственном участии автора.

На заседании 28.12.2018 диссертационный совет принял решение присудить Куликову А.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 13, против нет, недействительных бюллетеней 1.

Председатель  
диссертационного совета

Ярушкина Надежда Глебовна

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Смирнов Виталий Иванович



28.12.2018 г.