



УТВЕРЖДАЮ

И.о. ректора УлГТУ

А.П. Пинков

«02» 10 2018 г.

Печать организации

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ульяновский государственный технический университет»
(полное официальное название организации в соответствии с уставом)

Диссертация «Неразрушающие методы и средства измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ-транзисторах»
(название диссертации)

выполнена на кафедре «Радиотехника, опто- и наноэлектроника»
(наименование учебного или научного структурного подразделения)

В период подготовки диссертации соискатель Куликов Александр Александрович
(фамилия, имя, отчество – при наличии полностью)

Работал в Ульяновском филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук
(полное официальное название организации в соответствии с уставом,

в лаборатории УФ-2 твердотельной электроники опто- и наноэлектроники в должности ведущего инженера
, наименование учебного или научного структурного подразделения, должность)

В 2009 г. окончил Ульяновский государственный технический университет по специальности «Радиотехника»
(наименование образовательного учреждения высшего профессионального образования)
(наименование специальности)

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2018 г. Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Ульяновский государственный технический университет»
(полное официальное название организации(ий) в соответствии с уставом)

Научный руководитель – Сергеев Вячеслав Андреевич, директор Ульяновского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук
(фамилия, имя, отчество – при наличии, основное место работы, полное официальное название организации в соответствии с уставом, наименование структурного подразделения, должность)

академии наук

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Мощные биполярные и гетеробиполярные ВЧ и СВЧ-транзисторы (МБТ) широко применяются в современной телекоммуникационной аппаратуре и аппаратуре различного назначения и остаются при этом наименее надежными полупроводниковыми изделиями, поскольку работают в жестких тепловых и электрических режимах. Предельные функциональные возможности и надежность даже бездефектных МБТ во многом определяются эффектами неоднородного, а при определенных режимах – неустойчивого, распределения плотности тока, мощности и температуры в приборных структурах.

В результате действия положительной тепловой обратной связи электрический ток МБТ стягивается в узкий шнур и в структуре МБТ образуется «горячее пятно» (ГП). Развитие образовавшихся в структуре МБТ ГП при недостаточном ограничении энергии импульсов заканчивается, как правило, проплавлением базы МБТ. Даже при отсутствии проплавления появление перегретой области структуры сопровождается значительными термомеханическими напряжениями, которые приводят к накоплению структурных дефектов и деградации МБТ. Линия параметров режима в координатах ток–напряжение, соответствующих локализации тока, определяет одну из границ области безопасной работы (ОБР) транзистора, выход за пределы которой даже на короткое время приводит либо к отказу, либо к ухудшению параметров прибора.

Модели тепловой неустойчивости в структурах МБТ развиты в работах В.Л. Аронова, Б.С. Кернера, В.Ф. Синкевича, D'Alessandro, D. Navon, D.L. Blackburn, F.F. Oettinger. В большинстве работ рассматриваются модели бездефектных МБТ. Вместе с тем известно, что различные дефекты структуры и конструкции прибора приводят к снижению устойчивости МБТ к шнурованию тока. Одним из основных информативных диагностических параметров МБТ является напряжение шнурования тока.

Методы и средства измерения тепловой границы ОБР МБТ развиты в работах Я.А. Федотова, В.М. Бойздренко, Н.А. Рабодзея, В.Ф. Синкевича, Б.К. Петрова, В.А. Гусева, В.А. Сергеева и др. Известные методы имеют невысокую чувствительность и позволяют выявлять дефектные приборы лишь в режимах с резко неоднородным токораспределением, при которых изделие подвергается запредельным энергетическим воздействиям, что ограничивает применение этих методов в производственных условиях. В связи с этим актуальной задачей является разработка неразрушающих методов и средств измерения напряжения шнурования тока в структурах МБТ.

В данном исследовании ставится и решается задача разработки неразрушающих косвенных методов и средств измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ-транзисторах без введения приборов в критический режим.

Цель диссертационного исследования - повышение эффективности неразрушающего контроля качества мощных биполярных ВЧ и СВЧ-транзисторов путем повышения точности и чувствительности методов и средств измерения напряжения шнурования тока без введения приборов в опасный режим.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Провести теоретический анализ теплоэлектрических процессов на основе двухсекционной модели МБТ с дефектами и методами численного моделирования определить влияние дефектов на вольт-амперные характеристики МБТ.

2. Разработать неразрушающие способы измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторов по зависимости коэффициента внутренней обратной связи от коллекторного напряжения без введения прибора в критический режим.

3. Разработать экспериментальную установку для реализации и исследования возможностей предложенных способов на образцах серийных транзисторов.

4. Исследовать зависимости напряжения шнурования тока в МБТ от тока и температуры корпуса в рабочем диапазоне температур и токов.

5. Провести оценку характеристик выборочных распределений МБТ по теплоэлектрическим параметрам и исследовать влияние этих параметров и эффектов тепловой неустойчивости МБТ на характеристики усилительных транзисторных каскадов.

Методы исследований. При решении поставленных задач использовались положения и методы теории электрических цепей, физики полупроводников и полупроводниковых приборов, теории погрешностей, теории вероятности и математической статистики, а также численные методы с применением ЭВМ.

Научная новизна.

1. На основе двухэлементной теплоэлектрической модели МБТ с дефектами тепловой и электрофизической природы получены выражения для напряжения шнурования тока в зависимости от типа и размера дефектов.

2. Разработаны и апробированы на образцах нескольких типов МБТ оригинальные способы измерения напряжения шнурования тока по изменению крутизны зависимости коэффициента внутренней обратной связи h_{21} по напряжению от коллекторного напряжения до наступления тепловой неустойчивости.

3. Впервые исследована зависимость напряжения шнурования тока от температуры в рабочем диапазоне температур, включая область отрицательных

температур и показано, что температурная зависимость напряжения шнурования имеет немонотонный характер и существует температура корпуса, при которой напряжение шнурования минимально.

4. Показано, что тепловая неустойчивость токораспределения в транзисторных структурах приводит к увеличению нелинейности (второй гармоники) транзисторных усилителей мощности класса А.

Научная и практическая ценность работы.

Развитая в работе аналитическая модель теплоэлектрических процессов в структурах МБТ с дефектами различной физической природы может служить основой для разработки методов и средств диагностики качества МБТ.

Разработанные способы и установка для измерения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ-транзисторах могут быть использованы на выходном контроле предприятий-производителей МБТ и на входном контроле предприятий-производителей РЭА с использованием МБТ.

На защиту выносятся:

1. Модель и формулы для расчета токораспределения в симметричных структурах мощных биполярных ВЧ и СВЧ-транзисторов с дефектами различной физической природы.

2. Способ измерения напряжения шнурования тока мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторов по значениям малосигнального коэффициента обратной связи, измеренным при трех значениях коллекторного напряжения.

3. Способ измерения напряжения шнурования тока мощных биполярных ВЧ и СВЧ транзисторов значениям коллекторного напряжения, измеренным при трех значениях малосигнального коэффициента обратной связи по напряжению.

4. Расчетные формулы для оценки методической погрешности измерения напряжения шнурования тока по зависимости коэффициента внутренней обратной связи от коллекторного напряжения.

5. Зависимости напряжения шнурования тока от температуры в диапазоне до -60°C до 90°C , имеющие немонотонный характер и позволяющие оценить снижение границы ОБР в рабочем диапазоне температур.

6. Зависимости коэффициента гармоник усилительных транзисторных каскадов различных классов от теплоэлектрических параметров МБТ.

Внедрение результатов работы.

Усовершенствованная установка для измерения теплоэлектрических параметров мощных транзисторов УИТП-1МТ внедрена на заводе «Искра».

Неразрушающие способы измерения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ-транзисторах проходят апробацию в УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

Результаты диссертационной работы использованы 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 №18-7321686.

Ряд разработанных методик контроля параметров МБТ используются в учебном процессе базовой кафедры «Радиотехника, опто-и наноэлектроника» радиотехнического факультета УлГТУ.

Личный вклад автора. Основные научные результаты получены автором лично. Реализация ряда прикладных разработок и экспериментов осуществлялась с участием сотрудников и студентов кафедр «Радиотехника» и «Радиотехника, опто- и наноэлектроника» УлГТУ. Работы по внедрению результатов исследований проводились при личном участии автора.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 30 научных работ, включая 5 статей в изданиях из Перечня ВАК (в том числе 2 статьи в журналах, индексируемых в Scopus), 7 тезисов докладов на научно-технических конференциях и семинарах, 2 патента РФ на изобретения.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Сергеев, В. А. Компьютерное моделирование неизотермического токораспределения в симметричных биполярных транзисторных структурах с дефектами / В.А. Сергеев, О.А. Дулов, А.А. Куликов // Известия вузов. Электроника. – 2008. – №5. – С. 84–86.

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

3. Sergeev, V. A. Monitoring of the Current-Distribution Uniformity in Bipolar Transistors from the dependence of Internal-Feedback Factor on Collector Voltage / V. A. Sergeev, O.A. Dulov, A.A. Kulikov // Semiconductors. – 2010. – Vol. 44, No. 13. – pp. 1675-1679.

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

5. Sergeev, V. A. Nondestructive Method for Determining the Voltage of Current Pinching in Powerful Radiofrequency and Microwave Bipolar Transistors / V. A. Sergeev, A.A. Kulikov // Russian Microelectronics. – 2015.- №7. – С. 473-477.

6. Сергеев, В. А. Установка для измерения напряжения шнурования тока в структурах мощных ВЧ- и СВЧ биполярных транзисторов / В.А. Сергеев, А.А.

Куликов, Р.Г. Тарасов, Я.Г. Тетенькин // Автоматизация процессов управления. – 2017. – №3. – С. 43-51.

Патенты и авторские свидетельства

7. Сергеев В.А., Дулов О.А., Куликов А.А. Способ определения напряжения локализации тока в мощных биполярных транзисторах // Патент №2537519 РФ МКИ G01R 31/26. – Заявл. 2012009436 от 14.09.2012. – опубл. 21.04.2013, Бюл. 17.

8. Сергеев, Куликов Способ определения напряжения локализации тока в мощных биполярных транзисторах // Патент №2616871 РФ МКИ G01R 31/26. – Заявл. 2012009436 от 14.09.2013. – опубл. 21.01.2015, Бюл. 2.

Диссертационная работа А.А. Куликова представляет собой самостоятельное и законченное исследование, выполненное на актуальную тему. Предложенные в работе технические решения и полученные результаты позволяют повысить эффективность диагностического контроля качества мощных биполярных ВЧ и СВЧ-транзисторов. Работа выполнена на высоком научном уровне, имеет теоретическое и практическое значение и соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения по видам измерения (электрические измерения).

Диссертация «Неразрушающие методы и средства измерения напряжения шнурования тока в мощных биполярных ВЧ и СВЧ-транзисторах»

(название диссертации)

Куликова Александра Александровича

(фамилия, имя, отчество – при наличии)

Рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.11.01 – Приборы и методы измерения по видам измерения (электрические измерения)

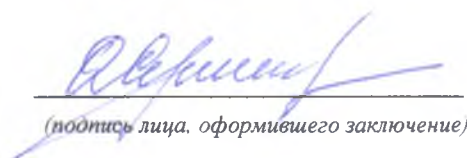
(отрасль науки)

(шифр(ы) и наименование специальности(ей) научных работников)

Заключение принято на заседании кафедры «Радиотехника, опто и наноэлектроника»

(наименование структурного подразделения организации)

Присутствовали на заседании 7 чел. Результаты голосования: «за» - 7 чел., «против» - 0 чел., «воздержались» - 0 чел., протокол № 2 от «27» сентября 2018 г.


(подпись лица, оформившего заключение)

(Сергеев Вячеслав Андреевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Радиотехника, опто- и наноэлектроника»
(фамилия, имя, отчество – при наличии, ученая степень, ученое звание, наименование структурного подразделения, должность)