

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

УДК 621.382.33

*На правах рукописи*

ВИЛЮХА  
Юлия Евгеньевна

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИОННЫХ  
ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание степени  
магистра технических наук

по специальности 1-38 80 04 Технология приборостроения

Минск 2018

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:

**БОРОВИКОВ Сергей Максимович,**  
кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент:

**ПОЛОЗКОВ Юрий Владимирович,**  
кандидат технических наук, доцент. Заведующий кафедрой «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Белорусского национального технического университета

Защита диссертации состоится «26» июня 2018 г. года в 10<sup>00</sup> часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 1 уч. корп., ауд. 415, тел.: 293-20-88, e-mail: kafpiks@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

## ВВЕДЕНИЕ

Сложность современной радиоэлектронной техники и значимость её функций обуславливают высокие требования к надёжности ее элементов, в том числе по постепенным (деградационным) отказам.

Деградационные отказы полупроводниковых приборов (ПП) проявляются в виде постепенного ухода одного или нескольких их функциональных параметров за пределы установленных норм. В процессе совершенствования технологии изготовления ПП, процент возникновения внезапных отказов можно существенно уменьшить. Постепенные (деградационные) отказы при наработке ПП исключить нельзя, поэтому они во многом определяют надёжность современной аппаратуры, особенно при её длительном функционировании. В связи с этим высок интерес к деградационным отказам. Процесс деградационных изменений параметров ПП можно смоделировать.

Существуют подходы, позволяющие в начальный момент времени работы ПП спрогнозировать их надёжность по постепенным отказам в виде определения вероятности того, что в течение заданной наработки функциональный параметр экземпляра будет находиться в пределах указанных норм. Для решения этой задачи прогнозирования необходимо получить математическую модель деградации функционального параметра. В исследованиях, представленных в научно-технической литературе, приводятся результаты, подтверждающие возможность прогнозирования постепенных отказов ПП. При использовании процедуры прогнозирования о значении параметра, и следовательно, надёжности экземпляра по постепенным отказам для заданной наработки, судят по реакции экземпляра на имитационное воздействие в начальный момент времени, т.е. до использования ПП в составе аппаратуры. Уровень имитационного воздействия определяют в зависимости от этой наработки, используя функцию пересчёта, показывающую, какой заданной наработке соответствует то или иное значение имитационного фактора. Эту функцию для рассматриваемого типа ПП получают с помощью предварительного исследования выборки ПП. В диссертации показана возможность моделирования деградационных изменений параметров ПП на примере биполярных транзисторов (БТ) методом имитационных воздействий, используя температуру в качестве имитационного фактора.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Высокие требования к качеству функционирования радиоэлектронной аппаратуры обуславливают необходимость развития методов контроля, позволяющих предсказывать отказы ПП в начальный момент времени, до постановки приборов в электронные устройства. Для ПП примерно 80 % общего числа отказов приходится на постепенные отказы, возникающие в результате деградиационных изменений в приборах и характеризующиеся постепенным изменением и выходом за допустимые границы значений одного или нескольких параметров. В отличие от внезапных отказов, проявляющиеся скачкообразным изменением параметров и являющихся явными, постепенные отказы по внешним проявлениям являются скрытыми, что затрудняет их своевременное обнаружение. С учетом этого проблема прогнозирования возможных постепенных отказов ПП до их постановки в электронные устройства представляет практический интерес.

Исследования, проведённые многими авторами, показывают возможность индивидуального прогнозирования деградиационных изменений параметров ПП методом имитационных воздействий. Актуальность темы исследования объясняется тем, что использование для биполярных транзисторов (как группы полупроводниковых приборов) результатов моделирования деградиационных изменений параметра гипотетически позволит в начальный момент времени прогнозировать значения параметров, и следовательно, возможные постепенные отказы транзисторов. На практике также возникает вопрос о выборе имитационного фактора.

### **Степень разработанности проблемы**

В исследованиях, представленных в научно-технической литературе, приведены результаты, подтверждающие эффективность прогнозирования деградиационных отказов полупроводниковых приборов методом имитационных воздействий. Известны научные работы белорусских (Широков А.М., Боровиков С.М., Пешес Л.Я. и др.) и российских учёных (Зайцев Н.А., Половко А.М. и др.). Также известны работы зарубежных ученых Martha V., Ciappa M., Livingston H.

Несмотря на это, в технических источниках отсутствуют конкретные рекомендации по выбору имитационных факторов.

Предложенное исследование направлено на то, чтобы показать возможность использования температуры в качестве фактора, имитирующего в начальный момент времени возможные деградиационные изменения параметров ПП при длительной наработке приборов.

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертации является получение имитационной модели деградационных изменений параметров БТ в случае использования температуры в качестве имитационного фактора. Под имитационной моделью будем понимать математическое выражение, показывающее, какая имитационная температура вызывает примерно такое же деградационное изменение параметра, как и интересующая заданная наработка. Для получения модели необходимо установить закономерности между изменениями функционального параметра БТ при действии имитационного фактора в начальный момент времени и дрейфом (деградационными изменениями) этого параметра при наработке БТ. Причём температура должна вызывать обратимые изменения параметра. Деградационные изменения параметра при наработке являются необратимыми.

Для достижения цели в работе необходимо было решить следующие задачи:

1. Проанализировать научно-техническую информацию о прогнозировании надежности полупроводниковых приборов.

2. На примере биполярных транзисторов как разновидности ПП исследовать влияние температуры (как имитационного фактора) и длительной наработки на деградационные изменения параметров транзисторов.

3. Используя результаты экспериментальных исследований, для БТ получить модель имитации деградационных изменений параметра  $h_{21Э}$  (статический коэффициент передачи тока базы в схеме с общим эмиттером) при использовании температуры в качестве имитационного фактора.

### **Область исследования**

Содержание магистерской диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-38 80 04 Технология приборостроения.

### **Теоретическая и методологическая основа исследования**

При написании диссертации использованы результаты исследований белорусских и зарубежных специалистов в области прогнозирования надёжности изделий электронной техники методом имитационных воздействий.

*Информационная база* исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

## **Научная новизна**

*Научная новизна* и значимость полученных результатов работы заключается в установлении статистической аналогии между изменениями параметра  $h_{21Э}$  (статический коэффициент передачи тока базы в схеме с общим эмиттером), вызываемыми температурой и деградационными изменениями при наработке 15 000 ч, тип транзисторов – КТ872А.

*Теоретическая значимость* работы заключается в анализе методов прогнозирования надёжности полупроводниковых приборов с учётом деградационных изменений их функционального параметра и систематизации подхода к получению модели имитации деградационных изменений параметра биполярных транзисторов.

*Практическая значимость* диссертации состоит в получении для биполярных транзисторов большой мощности типа КТ872А имитационной модели для параметра  $h_{21Э}$  (статический коэффициент передачи тока базы в схеме с общим эмиттером) в случае использования температуры в качестве имитационного фактора.

## **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Систематизация методов прогнозирования надёжности полупроводниковых приборов по постепенным (деградационным) отказам.

2. Статистическая аналогия (корреляционные связи) между изменениями функционального параметра  $h_{21Э}$  (статический коэффициент передачи тока базы в схеме с общим эмиттером) БТ типа КТ872А при действии в начальный момент времени температуры, как имитационного фактора, и дрейфом этого параметра при наработке транзисторов. Модуль коэффициента корреляции  $R = 0,82$  для наработки  $t = 15\ 000$  ч, изменение температуры от  $+25\ ^\circ\text{C}$  до  $-25\ ^\circ\text{C}$ .

3. Модель имитации деградационных изменений параметра  $h_{21Э}$  (статический коэффициент передачи тока базы в схеме с общим эмиттером) биполярных транзисторов типа КТ872А для случая использования температуры в качестве имитационного фактора.

## **Апробация и внедрение результатов исследования**

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 54-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (г. Минск, Беларусь, 2018 г.), на XVI Белорусско-российский научно-технической конференции «Технические средства защиты информации» УО «БГУИР (г. Минск, Беларусь, 2018 г.), в сборнике научных трудов Международной научно-практической конференции «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств» (г. Москва, Российская Федерация, 2018 г.).

Отдельные положения диссертации использованы при преподавании дисциплины «Теоретические основы проектирования и надёжности радиоэлектронных средств».

## **Публикации**

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 5 работах. Общий объём публикаций по теме диссертации составляет 17 страниц.

## **Структура и объём работы**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

**В первой главе** приведен анализ научно-технической литературы по теме магистерской диссертации, на основании которого систематизированы возможные подходы к прогнозированию постепенных (деградационных) отказов полупроводниковых приборов.

**Во второй главе** описаны исследования влияния температуры и длительной наработки на деградационные изменения параметров биполярных транзисторов.

**В третьей главе** на примере биполярных транзисторов показано, как получена имитационная модель деградационных изменений функционального параметра, и приводятся рекомендации по использованию имитационного моделирования для прогнозирования постепенных отказов биполярных транзисторов.

**В приложении** представлены публикации автора, акт внедрения и графическая часть в виде презентации по теме диссертации.

Общий объём магистерской диссертации составляет 101 страница. Из объёма основного текста диссертации – 69 страниц. Работа содержит 11 таблиц, 15 рисунков. Библиографический список включает 81 наименование.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы надёжности ПП с учётом деградационных отказов, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы магистерской диссертации.

**В общей характеристике работы** сформулированы её цель и задачи, показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и сведения о публикациях, а также структура и объём диссертации.

**В первой главе** представлен анализ научно-технической

информации по теме магистерской диссертации, на основании которого систематизированы возможные подходы к прогнозированию постепенных (деградационных) отказов ПП.

В главе рассмотрено понятие надежности полупроводниковых приборов; выявлены основные факторы, которые влияют на надежность; рассмотрены постепенные отказы и их последствия; выяснено, что большая часть отказов, которые возникают у ПП, являются постепенными (деградационными). Систематизирован метод имитационных воздействий применительно к прогнозированию значений функциональных параметров ПП на заданный будущий момент времени и оценке надёжности приборов по постепенным отказам.

Сформулирована цель магистерской диссертации и определены решаемые задачи.

Отмечается, что практическое использование метода предполагает выполнение следующих процедур:

- для прогнозирования параметрической надежности ПП (в частности, биполярных транзисторов) необходимо получить имитационную модель, представляющую собой математическое выражение (функцию пересчёта), устанавливающее соответствие между наработкой транзистора и уровнем имитационного воздействия. При этом указанную модель получают для функционального параметра, по значению которого судят надежности транзисторов по постепенным отказам;

- для получения функции пересчёта проводят экспериментальные исследования определенной выборки ПП рассматриваемого типа. Суть этих исследований – контроль значений интересующего функционального параметра вначале при воздействии имитационного фактора, а затем в процессе длительной наработки. С использованием результатов этих исследований получают две математические модели: одна показывает, как изменяется функциональный параметр ПП исследуемого типа от значений имитационного воздействия в начальный момент времени, вторая – как изменяется (деградирует) этот же функциональный параметр при длительной наработке ПП;

- прогнозирование значения функционального параметра ПП (конкретного экземпляра) выполняется с использованием имитационной модели – функции пересчёта. Для этого по имитационной модели рассчитывается уровень имитационного воздействия (фактора)  $F_{им}$ , соответствующий заданной наработке  $t$ . Значение функционального параметра экземпляра для заданной наработки  $t$  определяют как результат измерения этого параметра в момент  $t=0$  при воздействии на прибор имитационного фактора, равного значению  $F_{им}$ .

Определена общая концепция проведения экспериментальных исследований.

**Во второй главе** обосновывается выбор имитационного фактора для

проведения исследований деградации параметров биполярных транзисторов как группы полупроводниковых приборов.

Выполнено теоретическое обоснование возможности использования температуры в качестве имитационного воздействия при решении задач прогнозирования значений функциональных параметров и постепенных отказов БТ.

С помощью экспериментальных исследований на примере БТ типа КТ872А были получены закономерности изменения функционального параметра  $h_{21Э}$  (статический коэффициент передачи тока базы в схеме с общим эмиттером) от значений имитационного фактора, воздействующего на БТ в начальный момент времени ( $t=0$ ). В качестве имитационного фактора (воздействия) использовалась температура. Получена математическая модель, описывающие в начальный момент времени изменение функционального параметра  $h_{21Э}$  от температуры  $T$ , рассматриваемой в качестве возможного имитационного воздействия.

Далее была поставлена задача по установлению закономерностей деградационных изменений (дрейфа) функционального параметра  $h_{21Э}$  исследуемой группы транзисторов КТ872А в зависимости от длительной наработки (15 000 ч).

С целью сокращения продолжительности испытаний на длительную наработку (долговечность) принято решение о проведении ускоренных испытаний, выполняемых по типовым методикам.

На основе анализа установлено, что комбинация высокой температуры и обратного смещения на коллекторном переходе является наиболее оптимальной при ускоренных испытаниях БТ на длительную наработку. При реализации испытаний по типовой методике использована эта комбинация нагрузок. Выбран режим и рассчитано время проведения ускоренных испытаний. Проведены испытания на длительную наработку кремниевых БТ большой мощности *n-p-n* структуры (тип транзисторов – КТ872А).

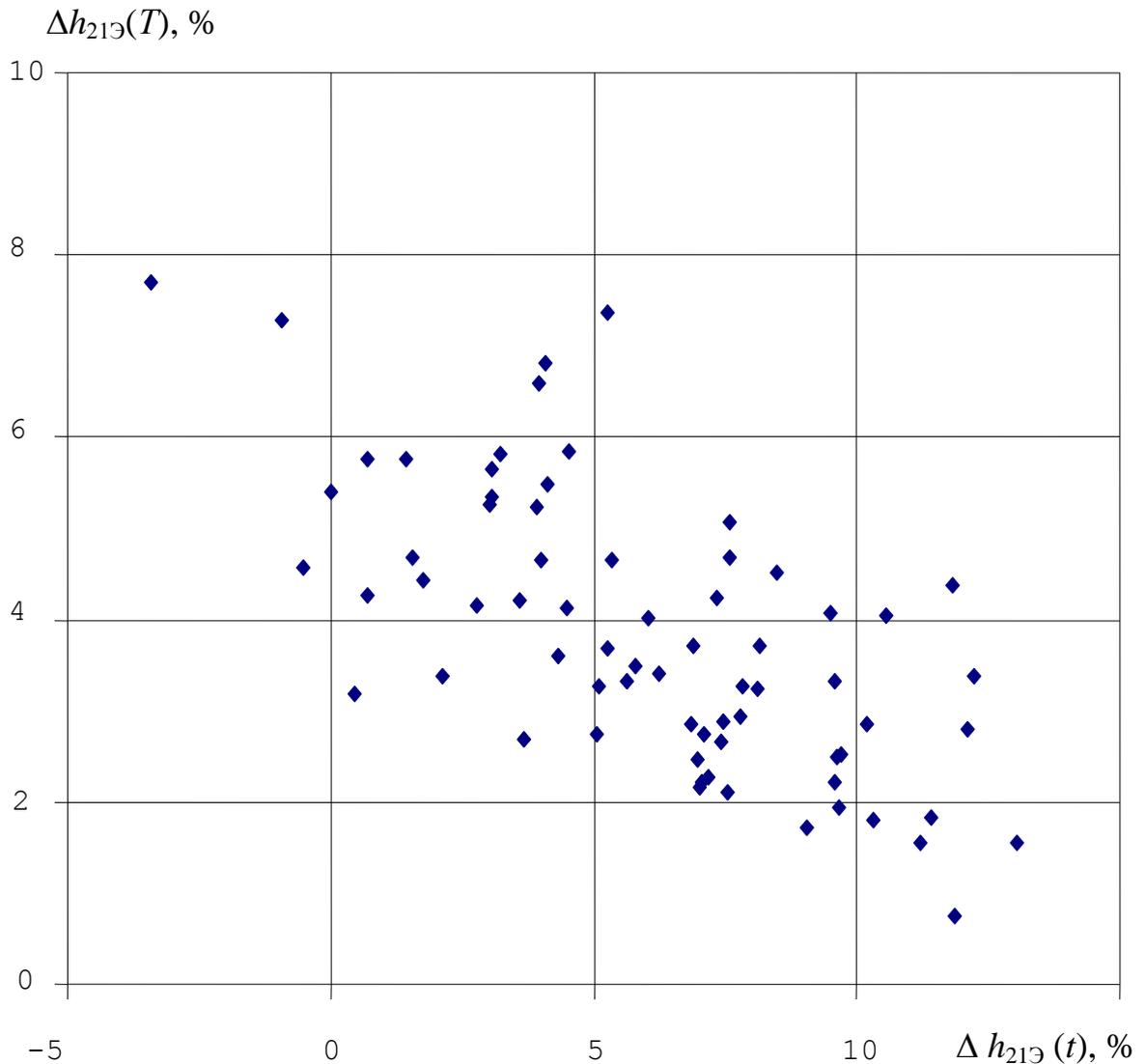
В **третьей главе** установлено наличие статистической аналогии между изменениями функционального параметра  $h_{21Э}$  (статический коэффициент передачи тока базы в схеме с общим эмиттером) при действии температуры как имитационного фактора и деградационными изменениями, возникающими при наработке. Определены коэффициент линейной корреляции между этими изменениями.

Показано, что между изменениями имеет место тесная линейная корреляционная связь, для некоторых случаев близкая к функциональной зависимости. Оценка модуля коэффициента корреляции достигала значения, близкого к 0,82. Тем самым на примере параметра  $h_{21Э}$  подтверждена гипотеза о наличии статистической аналогии (тесной корреляционной связи) между деградационными изменениями основных функциональных параметров БТ при длительной наработке транзисторов,

с одной стороны, и обратимыми изменениями этих параметров при действии имитационного неразрушающего воздействия (в частности температуры  $T$ ) в начальный момент времени – с другой.

Наличие корреляции между указанными изменениями позволит решать задачи по прогнозированию значений параметров и надёжности транзисторов по постепенным отказам на заданный будущий момент времени, используя реакцию параметра транзистора (конкретного экземпляра) на неразрушающее имитационное воздействие в начальный момент времени (в нашем случае – температуры).

На рисунке 1 показано корреляционное поле диаграмма разброса относительного изменения параметра  $h_{21Э}$  для случая изменения температуры  $T$  от  $+25^{\circ}\text{C}$  до минус  $25^{\circ}\text{C}$  и наработке  $t$  от нуля до значения 15 000 ч при температуре  $T = +25^{\circ}\text{C}$ .



**Рисунок 1 – Корреляция между  $\Delta h_{21Э}(T)$  и  $\Delta h_{21Э}(t)$ ,  $|R|=0,82$**

По результатам экспериментальных исследований применительно к транзисторам типа КТ872А, построена корреляционная матрица изменений функционального параметра  $h_{21Э}$  (статический коэффициент передачи тока базы в схеме с общим эмиттером), вызванных как действием имитационного фактора, так и обусловленных длительной наработкой транзисторов.

Используя результаты исследования выборки БТ типа КТ872А, получена имитационная модель деградации параметра  $h_{21Э}$ .

Прогнозное значение функционального параметра  $h_{21Э}$  для заданной наработки применительно к транзистору (конкретному экземпляру) получают путем измерения в начальный момент времени этого параметра при воздействии на транзистор температуры как имитационного фактора, уровень которого определяют для заданной наработки, используя функцию пересчёта (имитационную модель).

Применение указанного подхода позволяет в начальный момент времени определить соответствие прибора требованию надёжности по постепенным отказам для заданных будущих наработок.

В диссертации показано, как получена имитационная модель деградационных изменений параметра  $h_{21Э}$ .

Полученную модель можно использовать в начальный момент времени для прогнозирования значения функционального параметра БТ для заданных будущих длительных наработок.

Разработаны рекомендации по использованию на практике имитационного моделирования для прогнозирования деградационных (постепенных) отказов биполярных транзисторов и указаны этапы возможной методики индивидуального прогнозирования надёжности БТ по постепенным отказам. Методика позволит по реакции экземпляра (транзистора) на имитационное воздействие температуры в момент времени  $t = 0$  прогнозировать значение функционального параметра для заданной будущей наработки.

В приложениях приведены сведения, необходимые для пояснения изложенного материала, а так же акт внедрения.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Проведена систематизация методов прогнозирования надёжности полупроводниковых приборов по постепенным (деградационным) отказам. Обоснована возможность прогнозирования постепенных (деградационных) отказов полупроводниковых приборов методом имитационных воздействий.

2. Выполнено теоретическое обоснование использования температуры в качестве имитационного воздействия при исследовании деградационных изменений параметров полупроводниковых приборов. Выявлены недостатки использования температуры в качестве имитационного фактора.

С помощью экспериментальных исследований на примере БТ типа КТ872А построены зависимости изменения среднего значения функционального параметра  $h_{21Э}$  (статический коэффициент передачи тока базы в схеме с общим эмиттером) от значения имитационного фактора (температуры), воздействующего на БТ в начальный момент времени ( $t=0$ ), и деградационных изменений в зависимости от наработки (от нуля до 15 000 ч).

3. На примере биполярных транзисторов типа КТ872А доказано наличие статистической аналогии между изменениями функционального параметра  $h_{21Э}$  (статический коэффициент передачи тока базы в схеме с общим эмиттером) при действии температуры как имитационного фактора и деградационными изменениями, возникающими при наработке. Установлено, что между этими изменениями имеет место тесная линейная корреляционная связь, для некоторых случаев близкая к функциональной зависимости. Оценка модуля коэффициента корреляции достигала значения, близкого к 0,82.

Получена имитационная модель деградационных изменений параметра  $h_{21Э}$  биполярных транзисторов КТ872А. Даны рекомендации по использованию на практике имитационной модели деградационных изменений применительно к прогнозированию в начальный момент времени функциональных параметров БТ для заданных длительных наработок.

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно–компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебный курс «Теоретические основы проектирования и надёжности радиоэлектронных средств».

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ**

1. Вилюха, Ю.Е. Оценка надежности полупроводниковых приборов // материалы 54-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, Респ. Беларусь, 23-29 апреля 2018 г. / УО «БГУИР». – Минск, 2018. – С. 79.

2. Боровиков, С.М. Модели деградации параметров полупроводниковых приборов и их использование для прогнозирования

надёжности по постепенным отказам / С.М. Боровиков, Ю.Е. Вилюха, Н.И. Цырельчук, В.В. Хорошко // Технические средства защиты информации: Тез. докл. XVI Белорусско-российской науч.-техн. конф. – УО «БГУИР». – Минск, 2018. – С. 23-24.

3. Анализ САПР для имитационного моделирования физических и тепловых процессов / А.С. Жуковский, Ю.Е. Вилюха, А.В. Подымов // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Сб. науч. трудов Международной науч.-практич. конф. – Москва, 31 мая 2018. – С. 383-387.

4. Методы и анализ обеспечения и оптимизации тепловых режимов рэс: обзор методик оценки и анализа/ А.В. Подымов, Ю.Е. Вилюха, А.С. Жуковский // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Сб. науч. трудов Международной науч.-практич. конф. – Москва, Российская Федерация, 31 мая 2018. – С. 390-397.

5. Факторы, влияющие на надежность полупроводниковых приборов / Ю.Е. Вилюха, А.В. Подымов, А.С. Жуковский // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Сб. науч. трудов Международной науч.-практич. конф. – Москва, Российская Федерация, 31 мая 2018. – С. 379-383.

**РЭЗІЮМЭ**  
**Вілюха Юлія Яўгеньеўна**  
**Імітацыйнае мадэляванне дэградацыйных змяненняў**  
**параметраў паўправадніковых прыбораў**

**Ключавыя словы:** біпалярны транзістар, матэматычная мадэль, тэмпература, дэградацыя параметраў.

**Мэта работы:** Мэтай дысертацыі з'яўляецца атрыманне імітацыйнай мадэлі дэградацыйных змяненняў параметраў біпалярных транзістараў у выпадку выкарыстання тэмпературы ў якасці імітацыйнага фактару. Пад імітацыйнай мадэллю будзем разумець матэматычнае выраз, якое паказвае, якая імітацыйная тэмпература выклікае прыкладна такое ж дэградацыйнае змена параметру, як і якая цікавіць зададзеная напрацоўка. Для атрымання мадэлі неабходна ўсталяваць заканамернасці паміж зменамі функцыянальнага параметру біпалярных транзістараў пры дзеянні імітацыйнага фактару ў пачатковы момант часу і дрэйфам (дэградацыйнымі зменамі) гэтага параметраў пры напрацоўцы біпалярных транзістараў. Прычым тэмпература павінна выклікаць зварачальныя змены параметру. Дэградацыйныя змены параметру пры напрацоўцы з'яўляюцца незваротнымі.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:**

Праведзена сістэматызацыя метадаў прагназавання надзейнасці паўправадніковых прыбораў па паступовым (дэградацыйным) адмовах. Абгрунтавана магчымасць прагназавання паступовых (дэградацыйных) адмоваў паўправадніковых прыбораў метадам імітацыйных уздзеянняў.

Выканана тэарэтычнае абгрунтаванне выкарыстання тэмпературы ў якасці імітацыйнага ўздзеяння пры даследаванні дэградацыйных змяненняў параметраў паўправадніковых прыбораў. Выяўлены недахопы выкарыстання тэмпературы ў якасці імітацыйнага фактару.

З дапамогай эксперыментальных даследаванняў на прыкладзе БТ тыпу КТ872А пабудаваны залежнасці змены функцыянальнага параметру  $h_{21Э}$  (статычны каэфіцыент перадачы току базы ў схеме з агульным эмітэрам) ад значэння імітацыйнага фактару (тэмпературы), які ўздзейнічае на БТ у пачатковы момант часу ( $t = 0$ ), і дэградацыйных змяненняў у залежнасці ад напрацоўкі (ад нуля да 15 000 ч).

Атрымана імітацыйная мадэль дэградацыйных змяненняў параметру  $h_{21Э}$  біпалярных транзістараў КТ872А. Дадзены рэкамендацыі па выкарыстанні на практыцы імітацыйнай мадэлі дэградацыйных змяненняў у дачыненні да прагназавання ў пачатковы момант часу функцыянальных параметраў БТ для зададзеных працяглых напрацовак.

**Ступень выкарыстання:** вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс дысцыпліны «Надзейнасць тэхнічных сістэм» кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм.

**Вобласць ужывання:** электронная прамысловасць.

## РЕЗЮМЕ

Вилюха Юлия Евгеньевна

### Имитационное моделирование деградационных изменений параметров полупроводниковых приборов

**Ключевые слова:** биполярный транзистор, математическая модель, температура, деградация параметров.

**Цель работы:** Целью диссертации является получение имитационной модели деградационных изменений параметров биполярных транзисторов в случае использования температуры в качестве имитационного фактора. Под имитационной моделью будем понимать математическое выражение, показывающее, какая имитационная температура вызывает примерно такое же деградационное изменение параметра, как и интересующая заданная наработка. Для получения модели необходимо установить закономерности между изменениями функционального параметра биполярных транзисторов при действии имитационного фактора в начальный момент времени и дрейфом (деградационными изменениями) этого параметров при наработке биполярных транзисторов. Причём температура должна вызывать обратимые изменения параметра. Деградационные изменения параметра при наработке являются необратимыми.

#### **Полученные результаты и их новизна:**

Проведена систематизация методов прогнозирования надёжности полупроводниковых приборов по постепенным (деградационным) отказам. Обоснована возможность прогнозирования постепенных (деградационных) отказов полупроводниковых приборов методом имитационных воздействий.

Выполнено теоретическое обоснование использования температуры в качестве имитационного воздействия при исследовании деградационных изменений параметров полупроводниковых приборов. Выявлены недостатки использования температуры в качестве имитационного фактора.

С помощью экспериментальных исследований на примере БТ типа КТ872А построены зависимости изменения функционального параметра  $h_{21Э}$  (статический коэффициент передачи тока базы в схеме с общим эмиттером) от значения имитационного фактора (температуры), воздействующего на БТ в начальный момент времени ( $t=0$ ), и деградационных изменений в зависимости от наработки (от нуля до 15 000 ч).

Получена имитационная модель деградационных изменений параметра  $h_{21Э}$  биполярных транзисторов КТ872А. Даны рекомендации по использованию на практике имитационной модели деградационных изменений применительно к прогнозированию в начальный момент времени функциональных параметров БТ для заданных длительных наработок.

**Степень использования:** результаты внедрены в учебный процесс дисциплины «Надёжность технических систем» кафедры ПИКС.

**Область применения:** электронная промышленность.

**SUMMARY**  
**Vilyuha Yuliya**  
**Simulation modeling of degradation changes**  
**in the parameters of semiconductor devices**

**Keywords:** bipolar transistor, mathematical model, temperature, degradation of parameters.

**The object of study:** The aim of the thesis is to obtain an imitation model of degradation changes in the parameters of bipolar transistors in the case of using temperature as an imitation factor. Under the simulation model we will understand a mathematical expression showing which simulation temperature causes approximately the same degradation change in the parameter as the required operating time. To obtain the model, it is necessary to establish the patterns between the changes in the functional parameter of bipolar transistors under the action of the imitating factor at the initial instant of time and the drift (degradation changes) of this parameter when bipolar transistors are used. And the temperature should cause reversible changes in the parameter. The degradation changes in the parameter during the run-up are irreversible.

**The results and novelty:** Systematization of methods for predicting the reliability of semiconductor devices by gradual (degradation) failures is carried out. The possibility of predicting gradual (degradation) failures of semiconductor devices by the method of imitation effects is substantiated.

Theoretical substantiation of the use of temperature as an imitation effect in the study of degradation changes in the parameters of semiconductor devices is performed. The shortcomings of the use of temperature as an imitation factor have been revealed.

With the help of experimental studies, the dependence of the change in the functional parameter  $h_{21E}$  (the static transfer coefficient of the base current in a circuit with a common emitter) on the value of the imitation factor (temperature) acting on the BT at the initial time ( $t = 0$ ) and the degradation Changes depending on the operating time (from zero to 15,000 hours).

An imitation model of degradation changes in the  $h_{21E}$  parameter of bipolar transistors KT872A was obtained. Recommendations are given on the use in practice of the simulation model of degradation changes with reference to the prediction of the initial BT functional parameters for given long-term developments.

**Degree of use:** results are introduced into the educational process of the discipline "Reliability of technical systems" of the Information and Computer-Aided Systems Design department.

**Sphere of application:** electronic industry.