

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Лэ Куанг Тук «Эффекты воздействия сверхкоротких импульсных перегрузок на биполярные транзисторы с гетеропереходом и малошумящие усилители на их основе», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика»

Учитывая современные направления развития радиофизики, исследование функционирования радиоэлектронных средств в присутствии импульсных помех субнаносекундной длительности представляет собой актуальную задачу для разработчиков систем связи и радиолокации. В число наиболее уязвимых по отношению к действию помех устройств СВЧ диапазона входят малошумящие усилители, в качестве активных элементов которых широко применяются кремний-германиевые биполярные транзисторы с гетеропереходом. Такие устройства могут работать в условиях действия как гармонических, так и импульсных помех. Задача электромагнитной совместимости в условиях действия гармонических помех решается на этапе проектирования. Однако необходим также и учет возможных эффектов действия импульсных электроперегрузок по входной цепи. На этапе проектирования субнаносекундным импульсным помехам не уделяется должного внимания, а значит, проблема обеспечения устойчивого функционирования аппаратуры в случае преднамеренного или непреднамеренного воздействия такого вида помех является важной на сегодняшний день. Физические эффекты, которые возникают при этом в активных элементах усилителей в меньшей степени связаны с нелинейностью характеристик и в большей степени обусловлены физическими процессами в полупроводниковой структуре транзистора. Таким образом, **актуальность** темы диссертационной работы Лэ Куанг Тук

обусловлена необходимостью изучения указанных процессов и эффектов, а так же оценки параметров электромагнитной совместимости по обратимой деградации, которые характеризуют помехоустойчивость радиоэлектронной аппаратуры в условиях воздействия сверхкоротких импульсов.

В первой главе диссертационной работы автором на основе аналитических соотношений дана физическая интерпретация явления, возникающим при работе биполярных транзисторов с гетеропереходом в составе малошумящего усилителя в условиях воздействия импульсных помех сверхкороткой длительности. Снижение тока коллектора под действием сверхкоротких импульсов связывается автором с проявлением эффекта Кирка и рекомбинационными процессами в полупроводниковой структуре прибора.

Во второй главе представлена аппаратная реализация предложенной автором методики экспериментального исследования воздействия сверхкоротких импульсов на малошумящие усилители на основе биполярных транзисторов с гетеропереходом. Разработан алгоритм автоматизации экспериментального исследования и его программная реализация.

Третья глава посвящена описанию экспериментального исследования эффектов обратимой деградации тока коллектора биполярного транзистора с гетеропереходом для различных статических режимов работы транзистора в широком диапазоне температур. В результате диссертантом получены зависимости относительного тока коллектора от режимов работы транзистора и параметров импульсной последовательности. Показано, что воздействие последовательности сверхкоротких импульсов приводит к кумулятивному эффекту, при котором с каждым приходящим импульсом степень проявления эффектов обратимой деградации усиливается.

В заключительной главе представлены результаты проведенного автором экспериментального исследования характеристик электромагнитной совместимости малошумящего усилителя на основе биполярного транзистора с гетеропереходом как для случая гармонического воздействия, так и в условиях импульсных помех. Экспериментально измерены коэффициент

блокирования и верхняя граница динамического диапазона по блокированию, а также коэффициент обратимой деградации и верхняя граница динамического диапазона по обратимой деградации. На основе сравнения зависимостей указанных параметров от режима работы малошумящего усилителя даны рекомендации по выбору напряжений питания и смещения для улучшения его помехоустойчивости.

Исследования, выполненные в диссертации Лэ Куанг Тук, и их результаты обладают необходимой **научной новизной**, заключающейся в нахождении зависимости параметров обратимой деградации биполярного транзистора с гетеропереходом при воздействии на него импульсных помех от рабочих режимов, параметров импульсного воздействия, а также выработке рекомендаций по выбору режима работы транзисторов для уменьшения влияния импульсных помех.

**Достоверность** основных результатов подтверждается корректным применением математических методов, соответствием выводов известным фундаментальным теоретическим представлениям и корректным применением известных методик проведения физического эксперимента.

**Научная и практическая ценность** работы заключается в том, что автор провёл экспериментальные исследования воздействия последовательности сверхкоротких импульсов на биполярные транзисторы с гетеропереходом и на усилители на их основе, разработал и реализовал алгоритмы автоматизации экспериментального исследования.

Диссертация Лэ Куанг Тук написана доступным языком. Содержание автореферата правильно отражает содержание диссертации, а ее основные результаты были доложены на международных научно-технических конференциях и публиковались в рецензируемых научных журналах.

Вместе с тем диссертация Лэ Куанг Тук имеет несколько недостатков:

1. В работе не приведены результаты исследования зависимости эффектов обратимой деградации от длительности импульсов.
2. Не проведено исследование, в котором воздействие импульсами

проводилось бы по цепи питания (коллектор-эмиттер).

3. В тексте автореферата не приведены результаты исследований температурных зависимостей эффектов обратимой деградации.

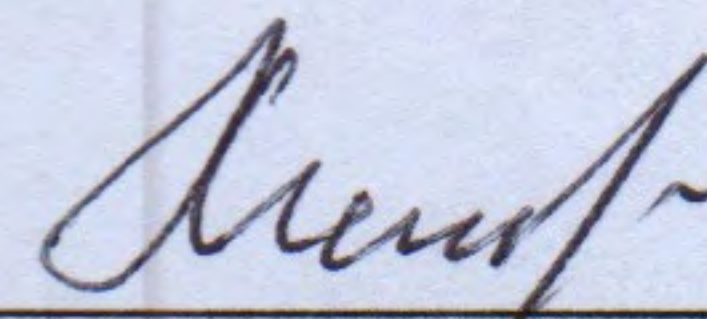
4. В работе имеется ряд орфографических и грамматических ошибок.

Однако отмеченные недостатки не снижают научной и практической ценности диссертации в целом. Диссертация Лэ Куанг Тук представляет научный интерес.

Диссертационная работа Лэ Куанг Тук «Эффекты воздействия сверхкоротких импульсных перегрузок на биполярные транзисторы с гетеропереходом и малошумящие усилители на их основе» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, содержание работы соответствует специальности 01.04.03 – «Радиофизика», а Лэ Куанг Тук заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент:  
кандидат физико-математических наук  
старший инженер  
АО «Концерн «Созвездие»,  
394018, г. Воронеж,  
ул. Плехановская, 14,  
тел: (473) 252-10-29,  
e-mail: [office@sozvezdie.su](mailto:office@sozvezdie.su)

**Мещеряков Иван Иванович**



1 декабря 2016 года

Подпись Мещерякова И.И. заверяю  
Заместитель генерального директора,  
кандидат технических наук

**Радько Н.М.**

1 декабря 2016 года

