

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Калашникова Константина Владимировича «Криогенный гармонический фазовый детектор и система фазовой автоподстройки частоты на его основе», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Диссертационная работа К. В. Калашникова выполнена в Институте радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН. Объектом исследования является криогенный гармонический фазовой детектор.

Активное развитие терагерцевой техники, происходящее в последние несколько лет, позволило получить новые сведения о распределении вещества во Вселенной. Наличие в терагерцевом диапазоне большого количества характеристических линий излучения и поглощения различных веществ делает этот диапазон незаменимым в космических исследованиях. Для исследования процессов, происходящих в удаленных космических объектах, приводящих к смещению характеристических линий излучения и поглощения, таких как движение частей газовых облаков, сложные реакции, проходящие внутри космических объектов и т. д. необходимо использование терагерцевых спектрометров сверхвысокого разрешения. Актуальны также и возможности использования терагерцевых приемников в системах атмосферного зондирования, системах безопасности, биомедицинских применениях.

Для исследования линий излучения и поглощения в качестве терагерцевых спектрометров сверхвысокого разрешения в большинстве случаев используются гетеродинные приемники. Современные гетеродинные приемники терагерцевого диапазона частот обладают превосходными шумовыми характеристиками (сопоставимыми с квантовыми шумами). В случаях, когда необходимо различать очень узкие и близкорасположенные линии излучения, особенно важна задача построения высокостабильного генератора гетеродина, используемого в супергетеродинном приемнике. Обычно для стабилизации частоты гетеродина используются системы фазовой автоподстройки частоты.

Работа К. В. Калашникова посвящена разработке криогенного фазового детектора для фазовой автоподстройки частоты криогенного сверхпроводящего интегрального приемника (СИП), разработанного в Институте радиотехники и электроники РАН. Использование криогенного гармонического фазового детектора, располагающегося на одном чипе с гетеродином и смесителем, позволило получить существенно большую полосу захвата по сравнению со стандартными полупроводниковыми системами ФАПЧ, широко применяемыми для получения высокостабильных генераторов гетеродина, и криогенными системами ФАПЧ, разработанными ранее для СИП. Данный результат, безусловно, является крайне актуальным для широкого круга применений терагерцевого сверхпроводящего интегрального приемника.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка публикаций по теме диссертации и списка цитируемой литературы

В главе 1 (введении) представлен обзор направлений практического и лабораторного использования ТГц излучения. Описана концепция сверхпроводникового интегрального приемника (СИП), которая заключается в объединении на одной микросхеме маломощного СИС-смесителя с приемной антенной, сверхпроводникового генератора гетеродина (СГГ) на основе длинного джозефсоновского перехода (ДДП), гармонического СИС-смесителя для системы фазовой автоподстройки частоты СГГ и согласующих структур между этими элементами. Дан обзор существующих систем ФАПЧ для различных криогенных генераторов терагерцевого диапазона, обсуждены их преимущества и недостатки. А также сформулированы задачи исследования и цели диссертационной работы.

Глава 2 посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию смесительных свойств туннельного СИС-перехода в режиме гармонического смесителя, а именно его мощностных характеристик, то есть зависимости мощности выходного ПЧ сигнала от измеряемых параметров. Проведен анализ возможности функционального объединения гармонического смесителя и фазового детектора в одном элементе – криогенном гармоническом фазовом детекторе (КГФД).

Глава 3 является наиболее интересной и, на мой взгляд, наиболее важной. В ней рассмотрена численная модель систем ФАПЧ, в том числе и на основе КГФД, обсуждаются основные параметры и закономерности работы таких систем, определена максимально допустимая временная задержка сигнала в петле обратной связи. Установлено, что рассматриваемая модель адекватно описывает широкополосные системы ФАПЧ, а результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными и могут быть использованы для исследования свойств систем ФАПЧ. На численной модели продемонстрирована работоспособность идеи функционального объединения гармонического смесителя и фазового детектора в одном элементе. Описана экспериментальная реализация сверхширокополосной системы ФАПЧ (рис. 2), в которой за счет объединения функций гармонического смесителя и фазового детектора в КГФД все элементы расположены в непосредственной близости от криогенного генератора, что открывает путь к созданию интегральной системы ФАПЧ для ДДП. Проведено сравнение системы ФАПЧ на основе КГФД с аналогами – полупроводниковой системой ФАПЧ и криогенной системой, в которой СИС-переход использован в качестве традиционного фазового детектора, показано преимущество последней.

Глава 4 посвящена исследованию способов наблюдения и оценки качества синхронизации в системе ФАПЧ на основе КГФД, а также изучению влияния параметров КГФД и режимов его работы на величину выходного сигнала КГФД. Проведен анализ квазичастичного и джозефсоновского режимов смещения СИС-перехода. Описан эксперимент, позволяющий исследовать выходной сигнал гармонического смесителя в зависимости от параметров приложенных сигналов как при наличии критического тока, так и при подавленном магнитным полем эффекте Джозефсона.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В качестве недостатков диссертационной работы следует отметить следующее:

1. На странице 20 упоминается работа [P. Khosropanah et. al., Phase locking of a 2.7 THz quantum cascade laser to a microwave reference, Optics Letter, Vol. 34, No. 19, 2009], в которой, по мнению автора диссертации, в качестве смесителя был использован болометр на холодных электронах. Вместе с тем, в оригинальной работе использовался болометр на горячих электронах (НЕВ смеситель) и на рисунке 1.8 он упомянут правильно.
2. На странице 46 приведено утверждение: «ГУН частоты 500 ГГц, гармонический смеситель и опорный синтезатор частоты 20 ГГц заменены на ГУН частоты 500 МГц. Такое упрощение допустимо, т.к. гармонический смеситель переносит спектр вниз по частоте без искажений». Данное утверждение является недоказанным, тем более, что гармонический смеситель, как любой нелинейный элемент, обогащает выходной спектр сигнала. Причина, по которой могут быть откинута гармоники выходного сигнала высоких порядков, осталась без пояснения.
3. Рисунок 3.7 на странице 52 приведен без указания единиц измерения.
4. Одним из основных результатов работы является расширение полосы захвата криогенного ФАПЧ на основе КГФД до 70 МГц, что соответствует примерно задержке в линии порядка 4нс. Задержка эта достаточно существенна по величине и причина ее появления в работе объяснена. Не исследованным остался бюджет задержки в

криогенном ФАПЧ: какое предельное значение полосы захвата можно получить используя предлагаемые в работе методы. Не исследована возможность изготовления интегрирующего фильтра прямо на чипе.

5. Есть замечания и к оформлению работы. Номер рисунка 3.7 встречается на страницах 52 и странице 55. Существуют повторения источников (Tucker J.R. Quantum detection in millimeter wave встречается в списке литературы под номерами 16 и 58). Некоторые выражения и фразы достаточно запутаны, например: «Соответственно, в спектре сигнала ошибки ФАПЧ появляется постоянная составляющая, в некоторой области частот пропорциональная девиации частоты от точки синхронизма» (стр. 68) или «Их параметры части из них приведены в таблице» (стр. 78). В тексте диссертации нет цели работы, практической значимости, положений, выносимых на защиту, личного вклада, достоверности и апробации полученных результатов.

Отмеченные недостатки не снижают общей высокой оценки диссертационной работы. Диссертация К. В. Калашникова представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение в развитии сверхпроводниковых интегральных схем. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Достоверность результатов обеспечивается комплексным характером экспериментальных исследований, воспроизводимостью экспериментальных результатов, сопоставлением с теоретическими расчетами и данными других авторов. Результаты работы опубликованы в ведущих профильных научных журналах и широко известны по многочисленным докладам на международных и всероссийских конференциях. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям п. 8 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Калашников Константин Владимирович, безусловно, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Гольцман Григорий Наумович



02.12.2014 г.

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей и экспериментальной физики факультета физики и информационных технологий Московского педагогического государственного университета

119992, Москва, Малая Пироговская, д. 29

Тел.: +7 499 246 88 99

Email: goltsman@mospu-phys.ru

