

Отзыв

официального оппонента, доктора физико-математических наук Гольцмана Г.Н. на диссертацию Корюкина Олега Валерьевича «Согласующие цепи смесителей на сверхпроводниковых туннельных переходах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика»

Диссертационная работа Корюкина О. В. посвящена разработке новых подходов к построению высокочувствительных смесителей миллиметрового и субмиллиметрового диапазона длин волн на СИС-переходах. В диссертационной работе проведено теоретическое обоснование и детальное численное моделирование новых схем и топологии СИС-смесителей с широкополосными согласующими цепями на СВЧ и ПЧ, а также разработаны практические конструкции СИС-смесителей миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов с применением комбинации из сверхпроводящих и нормальных металлов. Диссертантом на основе вычислительных методик была также проведена оценка результативности косвенного анализа экспериментальных данных сверхпроводниковых интегральных микросхем, содержащих СИС-смесители, с целью определения их внутренних параметров.

Эти исследования актуальны для целого ряда фундаментальных и прикладных задач. Исследуемые в работе устройства на основе СИС-смесителей применяются в радиоастрономии для наблюдения спектров излучения колебательных и вращательных переходов молекул межзвездного газа, что позволяет изучать эволюцию Вселенной. Гетеродинные приемники на основе ниобиевых ($\text{Nb-AlO}_x\text{-Nb}$) СИС-смесителей являются самыми эффективными на частотах от 100 ГГц до 1 ТГц в качестве радиоастрономических инструментов при изучении, например, спектрального состава излучения молекул вещества, составляющего пылевые облака и межзвездный газ. Кроме того, приборы с туннельными СИС-переходами могут быть использованы для генерации и усиления слабых сигналов от постоянного тока до частот порядка 1 ТГц. Перспективным направлением исследования является также интегрирование СИС-переходов и приборов на их основе с другими устройствами (например, генераторами) на одном чипе.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

В первой главе представлено описание теоретических и практических основ исследования СИС-смесителей. Приведены основные свойства туннельных СИС-переходов, их энергетическая структура, а также сравнение с другими аналогичными устройствами, такими как охлаждаемые смесители на диодах Шоттки, диодах супер-Шоттки и СИН-переходах (сверхпроводник–изолятор–нормальный металл). Описаны сверхпроводниковые волноводные и квазиоптические смесители, дается их определение и основные характеристики, сделаны выводы о достоинствах и недостатках существующих типовых схем. Приведены примеры из работ, содержащих типовые схемы смесителей. В главе также приведен раздел об интегрировании СИС-переходов, где описаны способы подключения СИС-переходов для получения заданной широкополосности, отстройки внутренней емкости переходов, согласования переходов с антенной и трактом ПЧ. Описаны линии передачи из сверхпроводников и балансные схемы смесителей. Приведены принципы масштабного моделирования и перечислены преимущества данного метода.

Во второй главе рассмотрены волноводные СИС-смесители. Поставлена задача разработки нового смесительного чипа 3 мм диапазона, который должен иметь сравнительно высокую частоту ПЧ (около 4.5 ГГц) с возможностью подавления зеркального канала, что требовало кардинального снижения индуктивности цепей ПЧ. Проведено масштабное моделирование смесительной камеры на основе волновода полного сечения с цилиндрическим бесконтактным поршнем в частотном диапазоне 3.75-5 ГГц, которое позволило определить импеданс подключения цепочки СИС-переходов в режиме подавления зеркального канала. Исследован также второй вариант смесителя – балансный смеситель, который состоит из двух смесительных чипов, заходящих в волновод от противоположных стенок одного поперечного сечения через соосные каналы в широкой стенке волновода. Третий чип в указанной схеме является чипом связи между сигнальным волноводом и волноводом гетеродина, который проходит рядом с основным, волноводы разделяет лишь тонкая стенка толщиной 70 мкм, сквозь которую проходит чип связи. Результаты этой главы производят самое благоприятное впечатление.

В третьей главе проведено исследование квазиоптических смесителей на СИС-переходах, прежде всего, на основе туннельной структуры NbN/AlN/NbN для смесителя диапазона 787-950 ГГц. Нижний электрод был изготовлен из эпитаксиальной пленки NbN, а настроенный контур (верхний электрод) из нормального металла (алюминия). Вся структура размещена на подложке из MgO. Проведено моделирование согласующих цепей в трех различных коммерчески-доступных симуляторах: MWO, HFSS, CST. Результаты расчета моделей из трехмерных симуляторов экспортировались в схему для подключения необходимых импедансов и правильного возбуждения токов в структуре. Анализ измеренной шумовой температуры позволил определить шумовой вклад каждой из составных частей смесителя в полную шумовую температуру приемного устройства. В главе также представлена методика анализа параметров чипа сверхпроводникового интегрального приемника на диапазон 500-650 ГГц, в том числе его составных компонентов, их работы, взаимодействия друг с другом. Микросхема приемника является интегральной совокупностью нескольких устройств, которые могут, в принципе, быть использованы порознь: источника гетеродина, СИС-смесителя, гармонического СИС-смесителя, антенны, линий задания магнитного поля, и других развязывающих и согласующих элементов. Характеристики каждого из этих элементов (устройств), объединенных в одной микросхеме, не могут быть измерены по отдельности из-за взаимного влияния этих элементов друг на друга. Таким образом, тестирование микросхемы приемника не только трудоемко, но и требует определения (вычисления) параметров по результатам влияния элементов схемы друг на друга в соответствии с определенной моделью. Эта часть исследования также выполнена на самом высоком уровне.

В заключении представлены полученные результаты и выводы диссертационной работы.

Перейдем теперь к недостаткам диссертационной работы, которые носят частный характер.

1. Так, во введении к диссертации нет критики положения дел в области исследований и, как следствие, постановка задач, на решение которых направлена работа, повисает в воздухе.

2. На стр. 82 можно прочесть: “Туннельный слой очень тонок – всего около 1 нм; это слой алюминия толщиной 60-70 нм, с поверхностью, окисленной в атмосфере чистого кислорода при пониженном давлении.”. Непонятно из каких соображений выбран столь толстый слой Al, если окисление производится на глубину 1 нм.

3. В тексте встречается профессиональный жаргон, хорошо понятный только узкому специалисту и запутывающий неподготовленного читателя, к примеру: подпись к рисунку 3.22, стр. 137 «Из графика получаем, что оптически потери составляют порядка 600 К.». На стр. 86: «Согласование по входу смесителя составляет меньше -14 дБ по всему диапазону.», На стр. 98: «В результате оптимизации было получено, что потери сигнала на переходы не превышают -4.3 дБ во всем диапазоне 787-950 ГГц и -3.9 дБ в максимуме, как показано на рис. 2.26 (вверху). Прохождение мощности гетеродина на переходы составило лучше -11.5 дБ во всем диапазоне и -6.5 дБ в максимуме, как показано на рис. 2.26 (внизу).». На стр 134: название параграфа: «Теоретическая оценка коэффициентов преобразования шумовой температуры». Также встречаются неточные формулировки и опечатки, к примеру, на стр. 23 «Смеситель продемонстрировал рекордно низкую чувствительность 250 К для частоты 935 ГГц и частоте ПЧ 1.5 ГГц, а по диапазону 850-1000 ГГц с шумовой температурой 3 всего лишь 350 К и менее.».

4. На стр. 138 введено понятие квантовой эффективности, но оно далее нигде не используется. В этом же параграфе не указаны потери преобразования смесителя, необходимые для расчёта шумовой температуры, приведённой к его входу, что не позволяет читателю провести оценки самостоятельно.

Приведенные замечания, впрочем, не снижают общей высокой оценки диссертации.

Таким образом, можно констатировать, что диссертация О.В. Корюкина представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Результаты работы опубликованы в ведущих научных журналах и представлены многочисленными докладами на международных и всероссийских конференциях. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, О.В. Корюкин, безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Гольцман Григорий Наумович,

03.09.2019г.

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.: +7-499-246-8899

Email: goltsman@mospu-phys.ru

