

125009, г. Москва,
ул. Моховая, д. 11, корп. 7,
ФГБУН Институт Радиотехники и
Электроники им. В. А. Котельникова
Российской Академии Наук
Диссертационный совет ДОО2.231.02

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Шуракова Александра Сергеевича «Спектр выходного сигнала терагерцового приемника на основе гетеродинного и прямого НЕВ-детектора», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 (Радиофизика),

Актуальность

Диссертация Шуракова А.С. посвящена исследованию актуального вопроса о стабильности и спектрах флуктуаций выходного сигнала приёмных устройств на основе эффекта электронного разогрева в сверхпроводящих плёнках в резистивном состоянии (НЕВ).

Приёмные устройства на основе НЕВ интересны тем, что позволяют создать наиболее чувствительные приёмники терагерцового диапазона, в то время как конкурирующие технологии, такие как полупроводниковые диоды Шоттки, либо сверхпроводниковые туннельные диоды СИС, либо уступают по чувствительности, либо имеют ограничение по частоте. Низкая прозрачность земной атмосферы в терагерцовом диапазоне ограничивает возможность проводить дистанционные исследования молекулярных спектров и теплового излучения внеземных объектов. Только недавно, с созданием дорогостоящих космических и высотных обсерваторий, вопрос о применении НЕВ приёмников перешёл в практическую плоскость. Начиная момента подготовки проекта космической обсерватории Хершель, НЕВ приёмники становятся наиболее актуальными кандидатами для практических применений в терагерцовом диапазоне частот. С началом практических применений выяснилась важность вопроса о стабильности НЕВ приёмников, актуальность которого сохраняется и по настоящее время.

Для выделения сигнала из шума при проведении наблюдений слабых сигналов в астрофизической обсерватории требуется калибровка приёмников и накопление сигнала. Обычно частота модуляции ограничена механическими свойствами телескопа около одного Герца, накладывая требования по стабильности приёмников на отрезках времени до единиц секунд. Возможность достижения радиометрического предела стабильности НЕВ приёмников проверяется методом дисперсии Аллана, которому посвящена значительная часть данной работы.

Новизна и достоверность

Научная новизна диссертационной работы Шуракова А.С. заключается в исследовании физических основ возникновения дрейфовых шумов в выходном сигнале НЕВ-смесителя, а также детальном изучении влияния СВЧ излучения на функционирование НЕВ-устройства, используемого в рамках гетеродинной приемной системы и приемника прямого детектирования. На основе исследования дрейфовых шумов осуществлена разработка методов и схем, направленных на достижение предельных значений стабильности и чувствительности приемников. В работе представлены как предложенные ранее и существенно оптимизированные, так и оригинальные научно-технические решения.

В частности, на основе установленной количественной корреляции между стабильностью выходной мощности НЕВ-смесителя и рабочим током смещения, разработана и реализована автономная система СВЧ подогрева электронной подсистемы НЕВ-смесителя с отрицательной обратной связью по току смещения, обеспечивающая стабилизацию рабочей точки смесителя по постоянному току.

В работе исследованы шумовые характеристики и спектр выходного сигнала прямого НЕВ-детектора, работающего в рамках схемы регистрации отклика на базе СВЧ рефлектометра: определена оптимальная мощность зондирующего СВЧ сигнала и параметры смещения по постоянному току. На основе этого исследования предложена оригинальная концепция матричного приемника терагерцового излучения на базе прямого НЕВ-детектора с нулевым смещением по постоянному току.

В рамках данной работы проведено исследование частотно-импульсной модуляции релаксационных колебаний в выходном спектре прямого НЕВ-детектора, работающего в режиме СВЧ рефлектометрии, и получена зависимость частоты колебаний от рабочей температуры детектора и мощности входного терагерцового сигнала.

Достоверность представленной работы обеспечена тщательной экспериментальной проверкой теоретических положений и сопоставлением полученных результатов с литературными данными. Существенной является экспериментальная демонстрация прототипа приемной гетеродинной системы на основе НЕВ-смесителя в машине замкнутого цикла с рабочей частотой около 1310 ГГц, и улучшенной стабильностью, где, благодаря компенсации флуктуации температуры и вибрации, вызываемых машиной, достигнута флуктуационная чувствительностью около 0,5 К, и время Аллана около пяти секунд.

Научная и практическая значимость

Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, были использованы при разработке и создании прототипа приемной системы на основе НЕВ-смесителя в рамках реализации канала с центральной частотой 1,44 ТГц для телескопа на территории Гренландии (GLT). Кроме того, исследованные режимы детектирования были успешно

использованы для создания инновационных коммерчески доступных одно- и многоэлементных приемников на базе прямого НЕВ-детектора с нулевым смещением по постоянному току компанией ЗАО «Сконтел», созданной представителями Учебно-научного радиофизического центра МПГУ для коммерциализации результатов научно-технических разработок.

Замечания

- Метод кривых дисперсии Аллана позволяет оценить близость стабильности приёмника к теоретическому пределу. Отклонение от предельной кривой означает, что накопление сигнала не приводит к существенному улучшению соотношения сигнал/шум. Для практических применений скорее важна длительность, при которой такое улучшение ещё происходит. Например, на рис. 2.17 видно, что увеличение времени интегрирования в 100 раз (с 0.1 до 10 секунд) улучшает дисперсию только в 2 раза вместо ожидаемых двух порядков. Не вполне ясно, какой критерий использовался для определения времени Аллана в данной работе в случае, когда минимум на кривой Аллана – размытый, а стабильность далека от радиометрического предела.
- Как соотносятся спектральное и мощностное время Аллана для стабилизированного гетеродинного НЕВ приёмника описанного в данной работе?
- Представляется полезным сопоставить стабильность представленного в данной работе прототипа НЕВ приёмника для 1.4 ТГц со стабильностью аналогичного канала для приёмника GREAT, разработанного для стратосферного телескопа SOFIA в MPIfR в Германии.
- Предложенный в данной работе много-пиксельный терагерцовый приёмник прямого детектирования со считыванием методом рефлектометрии представляется перспективным для применений в астрофизике и в системах обеспечения безопасности. Вместе с тем остаётся неясным вопрос о предельных размерах матриц детекторов выполненных по данной технологии.
- В целом , диссертация написана ясным языком и хорошо структурирована. Однако в тексте встречаются стилистические неточности такие как «... чернотельная нагрузка...» (стр. 57), "В отличие от волноводного случая, квазиоптическая схема..." (стр. 31) " или "в качестве сигнальных источников ..." (стр.92).

Данные замечания не влияют на общую высокую оценку работы, которая выполнена на высоком научном уровне.

Научные положения диссертации хорошо аргументированы и обоснованы. Основные результаты работы опубликованы в семи научных работах в журналах из списка ВАК, доложены на российских и международных конференциях. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Александра Шуракова является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение новой научной задачи о спектре выходного сигнала приёмников на основе НЕВ как в режиме гетеродинного, так и прямого детектирования терагерцовых сигналов. Решение данной задачи является существенным этапом в развитии радиофизики. Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Александр Сергеевич Шураков несомненно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Доктор физико-математических наук
Специальность 01.04.03 – радиофизика
Профессор, ведущий научный сотрудник
НИТУ «МИСИС»

Александр Владимирович Карпов

09 апреля 2019 г.

Адрес: Ленинский проспект, д. 4, 119049, г. Москва

Телефон (рабочий): +7 495 638 4646

Подпись Карпова Александра Владимировича заверяю

Проректор по безопасности и общим вопросам НИТУ «МИСИС»

И.М. Исаев

