

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
инновациям,

кандидат технических наук

А. И. Отто

2025 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Билинского Кирилла Владимировича «Разработка преобразователей частоты КВЧ диапазона», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Диссертационная работа Билинского Кирилла Владимировича посвящена разработке преобразователей частоты КВЧ диапазона и исследованию электрических параметров разработанных устройств.

Актуальность темы диссертационного исследования

В настоящее время во многих отраслях промышленности и сферах жизнедеятельности человека широко используется КВЧ диапазон. В частности, для передачи, приема, обработки информации, необходимы устройства, осуществляющие преобразование частот. Типичным таковыми устройствами являются преобразователи частоты: смесители и умножители, также к ним относят детекторы (осуществляющие преобразование высокочастотных сигналов в сигналы постоянного тока). Также преобразователи частот широко востребованы в измерительной технике КВЧ-диапазона.

На данный момент в России существует сравнительно небольшое число предприятий радиоэлектронной продукции, выпускающих изделия и устройства КВЧ-диапазона, во многих случаях уступающие иностранным аналогам как по электрическим параметрам, так и по стоимости (причем для некоторых участков КВЧ диапазона преобразователи частот вообще отсутствуют).

Таким образом, наличие весьма скудного спектра отечественных преобразователей частот КВЧ диапазона, по своим электрическим

параметрам, сопоставимых с зарубежными аналогами, подтверждает актуальность выбранной темы диссертационной работы.

Диссертационная работа Билинского Кирилла Владимировича направлена на разработку преобразователей частоты КВЧ-диапазона, реализованных на отечественной компонентной базе, использующих в качестве нелинейного элемента диоды с барьером Шоттки.

Научная новизна полученных результатов

Разработан новый способ согласования гармоникового смесителя по радиосигнальному волноводному входу, заключающийся в размещении согласованной волноводной нагрузки в дополнительном участке волноводной линии.

Исследована зависимость преобразовательной характеристики гармоникового смесителя W-диапазона от конструктивных параметров нелинейного элемента.

Разработаны оригинальные топологии волноводно-микрорешетчатых конструкций широкополосных преобразователей частот (смесители, умножители, детекторы).

Практическая значимость полученных результатов

В ходе диссертационной работы, на основе отечественных комплектующих, созданы следующие преобразователи частоты: смесители (балансный, субгармонический, гармониковый), умножители, детекторы, – по своим электрическим параметрам не уступающим зарубежным аналогам.

Разработан новый способ согласования гармоникового смесителя по волноводному радиосигнальному входу, улучшающий электрические параметры и упрощающий настройку смесителя.

Апробировано выполнение пассивных узлов преобразователей частот, таких как микрорешетчатого-волноводные переходы, согласующие линии на тонких диэлектрических подложках из полиимида.

Содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы из 160 наименований и трех приложений.

Во введении рассмотрена актуальность выбранной тематики диссертационной работы, приведено краткое описание работы.

В первом разделе приведен обзор литературы. Анализируется принцип действия, конструктивное устройство, расчетные методы и методы разработки преобразователей частоты КВЧ диапазона. Описаны аналитические зависимости потерь преобразования смесителей (балансный, субгармонический, гармониковый), эффективности умножителя, вольт-ваттной и тангенциальной чувствительностей детектора при учете вольт-амперной (ВАХ), вольт-фарадной (ВФХ) и динамических характеристик диода с барьером Шоттки (ДБШ) в КВЧ диапазоне. Рассмотрены типичные волноводно-микроросконовые конструкции преобразователей частот, реализованные в виде гибридной интегральной схемы (помещенной в центр Е-плоскости волновода), включающей нелинейный элемент, на основе ДБШ. Рассмотрены основные характеристики серийно-производимых преобразователей частоты ведущих зарубежных предприятий. Описаны стандартные методы измерений основных электрических параметров преобразователей частоты с использованием метрологически пригодного измерительного оборудования. Приведен алгоритм статистической обработки данных результатов измерений электрических параметров. Сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во втором разделе рассматривается конструктивное устройство и принцип действия разработанных преобразователей частоты. Разработанные преобразователи частоты представляют собой волноводно-микроросконовые конструкции на основе гибридной интегральной схемы. Приведен результат расчета преобразователей частоты на примере смесителя, умножителя, детектора. Данный метод заключается в проведении электродинамического моделирования волноводно-микроросконовых конструкций разрабатываемых устройств и последующем осуществлении нелинейного анализа. При проведении электродинамического моделирования используется расчетная (линейная модель) нелинейного элемента на основе эквивалентных параметров ДБШ в рабочем режиме. При проведении нелинейного анализа используется нелинейная модель НЭ на основе идеальной модели контакта металл-полупроводник и SPICE-параметров, учитывающих вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики и паразитные параметры ДБШ. Описаны линейные и дифференциальные параметры ДБШ полученные экспериментально для одиночного ДБШ с балочными выводами.

В третьем разделе приведены конструкция и принцип действия умножителя частоты. Описан нелинейный элемент, представленный в виде последовательной пары ДБШ со средним выводом. Рассмотрены основные узлы волноводно-микророскового тракта умножителя. Приведены измеренные электрические параметры разработанных умножителей частоты: выходная мощность, потери преобразования, эффективность, зависимость выходной мощности от входной, подавление побочных гармоник.

В четвертом разделе рассмотрены конструкция принцип действия разрабатываемых детекторов. Описан нелинейный элемент – последовательная пара ДБШ. Приведены полученные экспериментально следующие электрические параметры детекторов: вольт-ваттная и тангенциальная чувствительность, зависимость величины падающего напряжения на детекторе от величины падающей мощности, возвратные потери по радиосигнальному входу.

В приложениях представлены три акта использования результатов диссертационной работы в рамках выполнения ОКР по государственным контрактам «Конвертер-МН», «База-08», «Модуль-08», и заявка на результат интеллектуальной деятельности (патент на полезную модель).

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Полученные Билинским Кириллом Владимировичем результаты целесообразно использовать при разработке приемо-передающих систем и устройств КВЧ диапазона, а также при создании измерительной техники миллиметрового диапазона.

Разработанный автором способ согласования гармоникового смесителя по радиосигнальному входу позволит улучшить электрические параметры смесителя, упростить сборку и настройку, снизить требования к материалу и степени обработки согласованной волноводной нагрузки.

Полученные автором результаты исследования зависимости преобразовательной характеристики от конструктивных параметров нелинейного элемента для гармоникового смесителя W-диапазона позволяют создать гармониковый смеситель с рабочим диапазоном 75–110 ГГц с улучшенными электрическими параметрами. Разработанные автором гармониковые смесители на диапазон частот 40–170 ГГц позволяют создать модули расширения частот для векторного анализатора цепей и анализатора

спектра на данные диапазоны частот. Разработанные автором детекторы на диапазон частот 75–170 ГГц позволяют создать панорамные измерители КСВН и ослабления, а также измерители мощности на данный частотный диапазон.

Замечания по работе

К работе имеется ряд вопросов и замечаний.

1. Следует отметить общий небрежный характер оформления работы. Замечено большое количество орфографических, пунктуационных, синтаксических ошибок, в том числе пропущенные слова в предложениях, в подписях на рисунках, опечатки в единицах измерений, неверное указание значений на графиках (например, 60 дБ вместо 30) неверные ссылки на рисунки (по порядковому номеру), и ряд других.

2. Работа имеет явно выраженный практический характер. Автором представлен набор разработанных устройств, рассмотрены их характеристики. При этом заявленный автором новый метод расчета или метод разработки фактически в работе не приведен. Это означает высокую практическую ценность работы, но низкую теоретическую и, в целом, научную.

3. Отмеченное в разделе практической значимости применение полиимидовых диэлектрических подложек не относится ни к теме, ни к целям, ни к задачам, выполняемым в ходе диссертационного исследования.

4. В ходе работы остается под сомнением апробация моделированием разработанных устройств и некоторых узлов в их составе. Например, автором заявляется устройство для частотного диапазона 40...170 ГГц, при этом он демонстрирует его характеристики только в диапазоне 75...110 ГГц.

5. При разработке каждого из видов устройств автором отмечаются фильтры, которые он называет полосно-заграждающими. При этом все приведенные характеристики фильтров соответствуют фильтрам низких частот, узлов МВП – фильтрам верхних частот. Топология микрополосковых узлов, изображение на принципиальных схемах соответствует фильтрам нижних и верхних частот. Таким образом, либо фильтры не являются полосно-заграждающими, либо в работе приведен неполный набор их частотных характеристик. При этом несоответствие является критичным для работы устройства, так как для выделения полезного сигнала используются высшие

гармоники гетеродина, что означает необходимость фильтрации сигналов на всех остальных гармониках.

6. В диссертации довольно значительный объем материала уделен разработке топологии устройств КВЧ диапазона, способов их согласования, конструкции волноводной части. Работа могла бы быть представлена к защите по двум специальностям: 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения и 2.2.14 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

Заключение

Диссертационная работа Билинского Кирилла Владимировича на тему «Разработка преобразователей частоты КВЧ диапазона», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, является законченной научно-квалификационной работой и имеет научную и практическую значимость.

Результаты диссертационного исследования вносят вклад в теорию и практику разработки широкополосных преобразователей частоты КВЧ диапазона, являются важными для отечественных предприятий радиотехнической промышленности, что подтверждается соответствующими актами.


Основные результаты работы представлены достаточным количеством публикаций и соответствуют поставленным целям и задачам диссертационного исследования. Автореферат в полной мере отражает результаты диссертационной работы.

Диссертационная работа Билинского Кирилла Владимировича «Разработка преобразователей частоты КВЧ диапазона» соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, а ее автор Билинский Кирилл Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидат технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Диссертационная работа и автореферат Билинского К.В. на тему «Разработка преобразователей частоты КВЧ диапазона» рассмотрены на заседании кафедры радиоприемных и радиопередающих устройств ФГБОУ

ВО Новосибирского государственного технического университета «НГТУ»,
протокол №2 от 05.02.2025 г.

Заведующий кафедрой
радиоприемных и радиопередающих
устройств НГТУ,
д.т.н, доцент


_____/Степанов М. А.

Секретарь заседания
к.т.н., доцент


_____/Савиных И. С.

Сведения о ведущей организации

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ, НЭТИ).

Адрес: Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20

Ректор: Батаев Анатолий Андреевич

Телефон: (383) 346-08-43 (общий отдел)

Факс: (383) 346-02-09

Эл.почта: rector@nstu.ru

Веб-сайт: www.nstu.ru