

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.396.67

Тука  
Андрей Григорьевич

Апертурная антенна, возбуждаемая волноводом,  
интегрированным в диэлектрическую подложку  
печатной платы

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-45 80 01 Системы, сети и устройства  
телекоммуникаций

Научный руководитель:  
Бобков Юрий Юрьевич  
к.т.н., доцент

Минск 2017

## ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При проектировании СВЧ устройств к конструкции предъявляются требования компактности, малых внутренних потерь, малой стоимости и легкости интеграции с другими устройствами. Таким образом, такая технология как волновод, интегрированный в подложку печатной платы (далее ИВП) становится наиболее рациональным выбором для разработки радиочастотных устройств и систем, которая соответствует всем требованиям к проектированию устройства. В общем случае, технология ИВП является улучшением прямоугольного волновода, имеющего большие размеры.

**Актуальность проблемы.** В настоящее время проектируемые радиочастотные устройства имеют всё более сложные, но в тоже время и компактные конструкции, комбинируя пассивные и активные элементы на одной плате. Требования к характеристикам устройств остаются те же, однако, существенное изменение размеров накладывают определённые рамки на использование прежних технологий.

Применение технологий, позволяющих создавать высокотехнологичные устройства с меньшими затратами и большей эффективностью является ключевой в развитии всех областей, связанных с коммутацией радиочастотных сигналов. Использование технологии ИВП позволяет не только существенно уменьшить размеры, но и адаптировать приёмо-передающие устройства к необходимой форме, что позволяет использовать их в ранее не применимых областях. Высокая технологичность позволяет использовать данную технологию в аэрокосмической области, авиации, при изготовлении конформных решёток, спутниковой связи, в силу своей легкости и использования материалов, не накапливающих радиацию. Технология так же нашла применения в мобильных передвижных антенных системах, метеорологических и специальных системах радиолокации. Такие системы требуют высоконаправленных антенн с очень широкой полосой частот для отправки и приёма сигналов равной мощности во всём частотном диапазоне. Учитывая широкую область применения можно заключить, что задача проектирования устройств с использованием технологии ИВП является актуальной и перспективной для дальнейшего развития.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является разработка апертурной антенны, выполненной на основе технологии ИВП. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

провести анализ существующих устройств СВЧ, выполненных по технологии ИВП;

проанализировать способы возбуждения ИВП волновода от коаксиального

кабеля;

провести анализ поля вдоль, в поперечном сечении ИВП волновода и определить параметры оптимального рупора;

составить численную модель апертурной антенны, выполненной по технологии ИВП;

провести анализ полученных результатов и выработать рекомендации для инженерных расчётов рупорной антенны выполненной по технологии ИВП.

**Методы исследования.** Проводимые исследования основываются на общей теории антенн и численных методах электродинамики. Программное обеспечение, необходимое для решения поставленных в диссертации задач, реализовано в пакете объемного электромагнитного моделирования *CST MWS*.

**Достоверность результатов.** Достоверность полученных результатов подтверждается сравнением с результатами полученными другими авторами и приведены в открытой литературе.

**Апробация работы.** Результаты работы были представлены на XX Международной НТК «Современные средства связи», по результатам диссертации опубликована одна тезисная работа.

**Практическая ценность.** Полученная модель антенны может быть использована в системах спутникового телевидения и связи *Ku*-диапазона.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Работа содержит 60 страниц машинописного текста, 45 рисунков и список литературы из 77 наименований.

## **БАЗОВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

1. Оптимизирована конструкция перехода коаксиальный волновод-волновод, интегрированный в подложку печатной платы.
2. Оптимизирована конструкция *H*-секториального рупора с замедляющей системой.
3. Зависимости влияния геометрических параметров печатной замедляющей структуры на параметры согласования и направленности *H*-секториального волновода.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, даётся краткая характеристика основных достижений в области интеграции устройств СВЧ в печатные платы.

Первая глава «Интеграция излучающих структур в печатные платы устройств» включает в себя различные вариации подразделов.

В подразделе 1.1 «Обзор истории развития техники интеграции» описывается краткий исторический экскурс становления технологии ИВП, рассматривается структура и описываются достоинства ИВП, приведены методы анализа. Приведены типы устройств, реализуемых на основе технологии ИВП и представлен их краткий обзор. Описаны перспективы дальнейшего развития технологии.

В подразделе 1.2 «Варианты сопряжения фидеров с интегрированными антеннами» описываются технологии возбуждения ИВП с вариациями промежуточных переходов между коаксиальной линией и ИВП, таких как микрополосковая линия, копланарная линия, цельнометаллический волновод и резонатор. Представлены качественные характеристики и структуры переходов. Была выбрана обоснована и выбрана технология для реализации целей диссертационной работы.

Вторая глава «Численное моделирование ИВП рупора» включает в себя следующие подразделы.

В подразделе 2.1 «Описание ПО CST MWS» представлено описание программного продукта, предназначенного для моделирования высокочастотных устройств. Описаны используемые пакетом моделирования методы. Представлены краткие описания вычислительных ядер, используемых для моделирования и используемые в них алгоритмы.

В подразделе 2.2 «Вычислительное ядро во временной области» рассмотрен численный метод, модифицированный метод конечных интегралов, используемый вычислительным ядром во временной области. Описан процесс дискретизации, используемый методом конечных интегралов. Приведено сравнение оригинального метода конечных разностей во временной области и используемого в ПО.

Во третьей главе «Расчёт и оптимизация конструкции перехода» приведён процесс оптимизации геометрических параметров выбранного перехода. В главе представлена численная модель в среде объёмного электромагнитного моделирования CST MWS. Приведены параметры перехода и методы их оптимизации. Описаны все этапы оптимизации и представлены результаты моделирования.

Четвертая глава «Апертурная антенна на основе прямоугольного волновода, интегрированного в печатную плату» посвящена выбору оптимальной конструкции  $H$ -секториального ИВП рупора. Приведена методика расчёта оптимального рупора и проведено электромагнитное моделирование выбранной конструкции рупора. Проведено исследование влияния геометрических параметров конструкции на коэффициент направленного действия, коэффициент обратного излучения и ширину полосы антенны.

Выработаны рекомендации по выбору геометрических параметров конструкции для исследуемой частоты.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведенные исследования позволяют сформулировать основные выводы и результаты:

- проведён детальный анализ существующих СВЧ устройств, выполненных по технологии ИВП;
- проведено детальное исследование способов возбуждения ИВП структур от коаксиального кабеля, один из которых был рекомендован к применению;
- оптимизирована конструкция перехода для возбуждения ИВП структур на исследуемой частоте;
- приведена методика расчёта оптимального рупора и исследованы методики улучшения характеристик и оптимизации конструкции рупора;
- приведен электромагнитный анализ и оптимизация численной модели ИВП рупора и выработаны рекомендации для инженерных расчётов.

Таким образом, задачи, которые были поставлены перед началом проектирования, успешно реализованы.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

[А-1] Тука, А. Г. Коаксиально-волноводный переход для антенны на основе интегрированного в подложку печатной платы волновода / В. М. Лебедев, А. Г. Тука // Современные средства связи: материалы XX Международной НТК, 14-15 октября 2015 г., г. Минск. – Минск.: УО ВГКС, 2015. – С. 91-93.