

РАЗДЕЛ 5. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И КОМПОНЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

движения посредством изменения характеристик управляющего сигнала. Так, например, нулевое смещение винта свидетельствует о необходимости увеличения амплитуды управляющих сигналов или снижения трения демпфера, а большая величина обратного хода – о необходимости увеличения трения демпфера.

Таким образом, как показало вышеизложенное, интеграция датчика и демпфера в инерционный пьезоэлектрический привод позволяет расширить функциональные возможности в области контроля и управления величиной наноперемещений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев, П.В. Высокоточный инерционный пьезоэлектрический привод вращательно-поступального типа / П.В. Гуляев [и др.] // Электротехника. – 2010. – №10. – С. 8-11.
2. Гуляев, П.В. Автоматизация процесса сближения зондирующей иглы и образца в электрохимическом туннельном микроскопе/ П.В. Гуляев, Н.И. Осипов, М.Р. Гафаров // Ползуновский вестник. – 2011. – № 3. – С. 200-203.
3. Гуляев, П.В. Асинхронный режим работы инерционного пьезоэлектрического привода / П.В. Гуляев [и др.] // Ползуновский вестник. – 2011. – № 3-1. – С. 86-88.
4. Геккер Ф.Р. Динамика машин работающих без смазочных материалов в узлах трения / Ф.Р. Геккер. – М.: Машиностроение. – 1983. – 168 с.
5. Башта, Т.М. Объемные гидравлические приводы / Т.М. Башта [и др.]. – М.: Машиностроение. – 1969. – 628 с. – С.113.
6. Конструкционные свойства пластмасс / Под ред. Бэра Э. – М.: Химия. – 1967. – 464 с.
7. Крагельский, И.В. Коэффициенты трения / И.В. Крагельский, И.Э. Виноградова. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. – 1962. – 220 с.
8. Липанов, А.М. Инерционный пьезоэлектрический привод с магнитоиндукционным датчиком скорости/ А.М. Липанов [и др.] // Датчики и системы. – 2012. – № 5. – С. 52-54.
9. Липанов, А.М. Формирование наноперемещений пьезоэлектрическим осциллятором и кинематической парой вращения/ А.М. Липанов [и др.] // ПЖТФ. – 2011. – Т. 37. – №15. – С. 55-61.
10. Липанов, А.М. Прецизионный пьезодвигатель наноперемещений для сканирующего туннельного микроскопа / А.М. Липанов, П.В. Гуляев, Е.Ю. Шелковников // Датчики и системы. – 2004. – №9. – С. 30-33.

К.т.н., с.н.с. Гуляев П.В., д.т.н., г.н.с. Шелковников Ю.К., к.ф.-м.н., с.н.с. Тюриков А.В., – (3412) 21-89-55, iit@udman.ru - Институт механики УрО РАН.

УДК 621.369.67

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ПАТЧ-АНТЕННЫ ТРЕХСАНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

И.Д. Бортников, А.П. Люлякин, А.А. Трубачев, А.В. Юрченко, В.И. Юрченко

В статье представлены результаты теоретического расчета, численного моделирования и экспериментальных исследований характеристик симметричной двухэлементной треугольной микрополосковой антенны 3-см диапазона длин волн.

Ключевые слова: антенна, диаграмма направленности

Актуальность

Во многих областях современной промышленности используются системы контроля, к эксплуатации которых предъявляются высокие требования. Если современный уровень развития методов и средств контроля готовых изделий достаточно высок, то в отношении контроля технологических параметров материалов и изделий в процессе производства достижения ещё незначительны. Особенность неразрушающего контроля

заключается в том, что технологические параметры необходимо определять непосредственно в технологическом процессе. Это условие накладывает на метод контроля существенные ограничения. Наиболее эффективными для этих целей являются радиоволновые, тепловые, радиационные и акустические методы. При этом наиболее информативными являются бесконтактные радиоволновые методы контроля, позволяющие контролировать геометрические размеры, нали-

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ПАТЧ-АНТЕННЫ ТРЕХСАНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

чие дефектов, содержание компонент, толщину покрытия и другие параметры с высокой точностью при сравнительно малых затратах. Именно поэтому радиолокационный контроль объектов и технологии стал в настоящее время интенсивно развивающимся направлением науки и техники во всех странах мира. Появился новый класс устройств, объединяющий микромеханику и электронику. Ожидаемый на период до 2020 года сдвиг от производства к исследованиям и разработкам в основном обусловлен интенсивным освоением интегральной СВЧ электроники и микромеханики, в том числе для контроля параметров технологических процессов. Генераторы в объемном (волноводном) исполнении не удовлетворяют требованиям по степени миниатюризации, технологичности изготовления и стоимости [1–3].

Численное моделирование характеристик симметричной двухэлементной треугольной микрополосковой антенны

Было проведено численное моделирование и экспериментальные исследования характеристик симметричной двухэлементной треугольной микрополосковой антенны для использования в измерительном оборудовании 3-см диапазона длин волн.

При выборе типа антенны, как и других частей радиотехнической системы, использовали следующие параметры:

- полоса пропускания в пределах 1 ГГц;
- ширина диаграммы порядка 10 градусов в обеих плоскостях;
- высокое значение коэффициента усиления;
- малые габариты (около 5×5 мм);

Активный элемент диода Ганна в антенне имеет симметричное включение, выполнен в виде бескорпусного кристалла [4]. Антенна представляет собой два треугольника, обращенные друг к другу вершинами в виде симметричного вибратора с углом $2\theta = 60^\circ$ и диодом в центре между ними. Диаграмма направленности для этого угла представлена на рисунке 1.

На диаграмме отложено $k = 2\pi/l$, где $a = l$ – длина плеча и $l = 3\lambda/2\pi = 14,3$ мм. Толщина подложки $h = 1$ мм и проводника $t = 35$ мкм.

Для распространения волны TM_{11} при симметричном возбуждении необходимо, чтобы вдоль одного плеча антенны укладывалась половина длины волны. Для уменьшения потерь использован СВЧ диэлектрик ФЛАН-5.0 с диэлектрической проницаемостью 5 и толщиной 1 мм. Учитывая характеристики материала и длину волны, имеем гео-

метрию антенны, представленную на рисунке 2а.

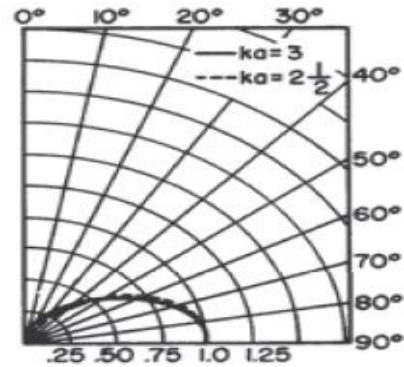
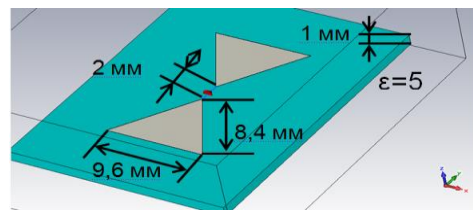
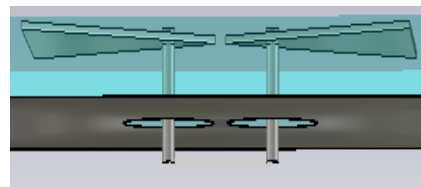


Рисунок 1 - Теоретическая диаграмма направленности антенны.

Конструктивная особенность, которую учитываем при разработке антенны: микрополосковая антенна имеет симметричный вход (см. рисунок 2б), измерительные приборы имеют коаксиальный вход. Поэтому необходимо использовать переход для трансформации типа волны и волнового сопротивления, выполненный на неоднородных линиях при полосе пропускания трансформатора заведомо шире рабочей полосы частот антенны. Полосковая линия плавно переходит в симметричную двухпроводную линию: микрополосок на верхнем слое диэлектрика меняет свое сечение по экспоненциальному закону, преобразуясь в верхнее плечо симметричной линии. Заземленная пластина микрополосковой линии также меняет свое сечение, преобразуясь в нижнее плечо симметричной линии.



а)



б)

Рисунок 2 - Модель патч-антенны в САПР:

а) геометрия антенны на материале с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=5$;

б) проводящие линии в конструкции антенны.

Аннотации, содержание и ключевые слова

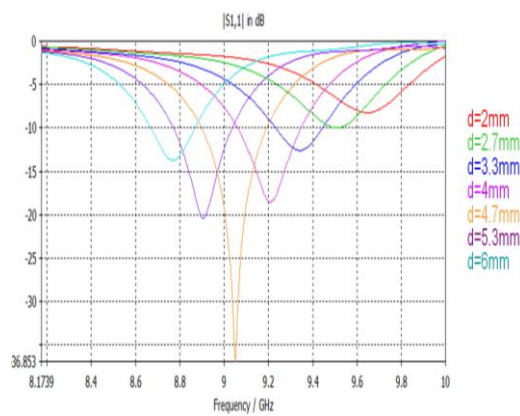


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента отражения от расстояния между линиями.

Из приведенных на рисунке 3 зависимостей следует, что внесение в конструкцию возбуждающих линий не влияет на диаграмму направленности, но существенно влияет на коэффициент отражения антенны. При увеличении расстояния между линиями резонансная частота смещается вниз; наименьшее отражение происходит при расстоянии порядка 4,7 мм при наиболее широкой полосе пропускания. Для того чтобы подключить трансформатор, его нужно согласовать с антенной по волновому сопротивлению, то есть спроектировать геометрию антенны, при которой ее волновое сопротивление, и оптимальные направляющие характеристики сохраняются в достаточно широкой полосе частот.

Микрополосковый трансформатор спроектирован таким образом, чтобы одним концом он соединялся с коаксиальным кабелем на 50 Ом, а другим концом к антенне, согласованной с трансформатором на 45 Ом. Трансформатор имеет геометрию, изображенную на рисунке 4

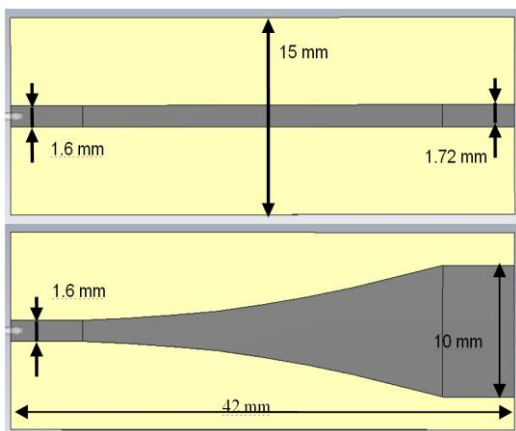


Рисунок 4 - Геометрия трансформатора на материале с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=10$ и толщиной 2мм.

Конструкция исследуемой модели построенной в САПР показана на рисунке 5.

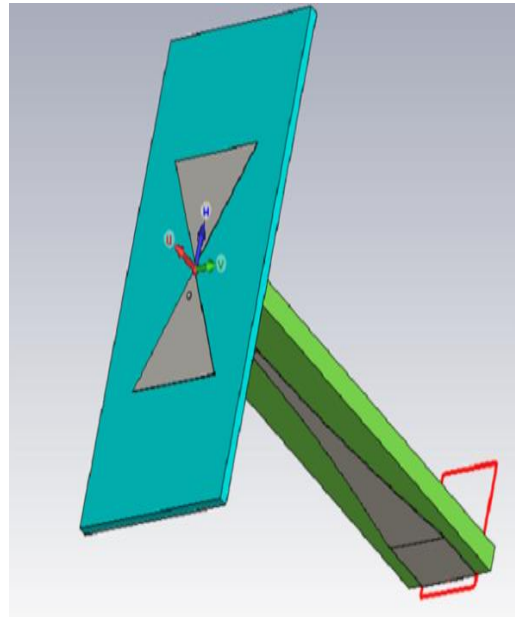


Рисунок 5 - Вид модели в собранном виде.

Частотная зависимость коэффициента отражения от входа приведена на рисунке 6.

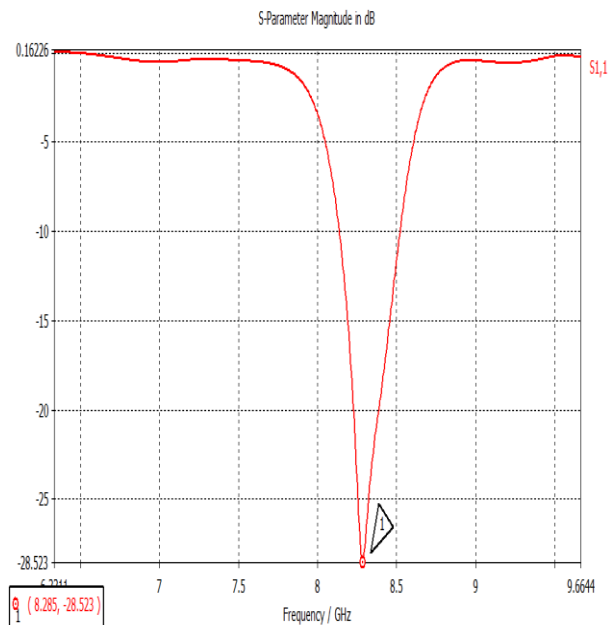


Рисунок 6 - График частотной зависимости коэффициента отражения от входа.

Ширина главного лепестка диаграммы направленности (рисунке 7), рассчитанной на частоте 8,3 ГГц, в Е-плоскости составила 77 градусов при уровне боковых лепестков -12,5 дБ, и 74 градуса при уровне боковых лепест-

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ПАТЧ-АНТЕННЫ ТРЕХСАНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

ков -9 дБ в Н-плоскости. Коэффициент усиления составил 4,8 дБ.

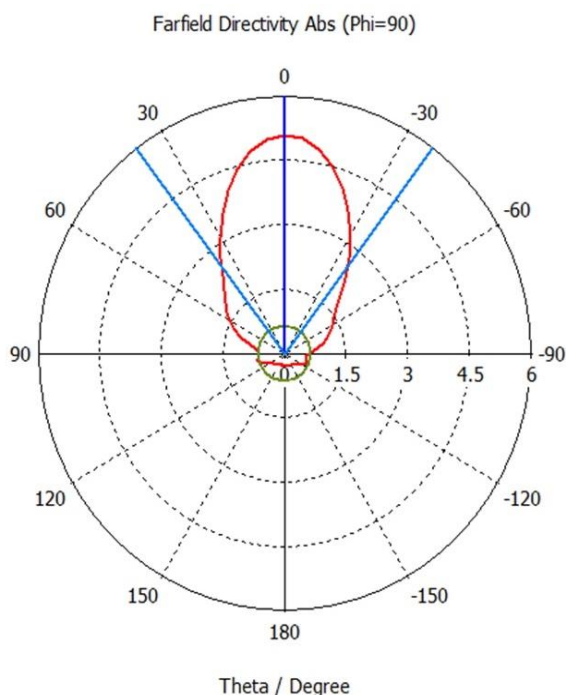


Рисунок 7 - Диаграммы направленности антенны в двух плоскостях.

По рассчитанной модели методом фотолитографии и травления были выполнены образцы антенны и трансформатора (рисунок 8).

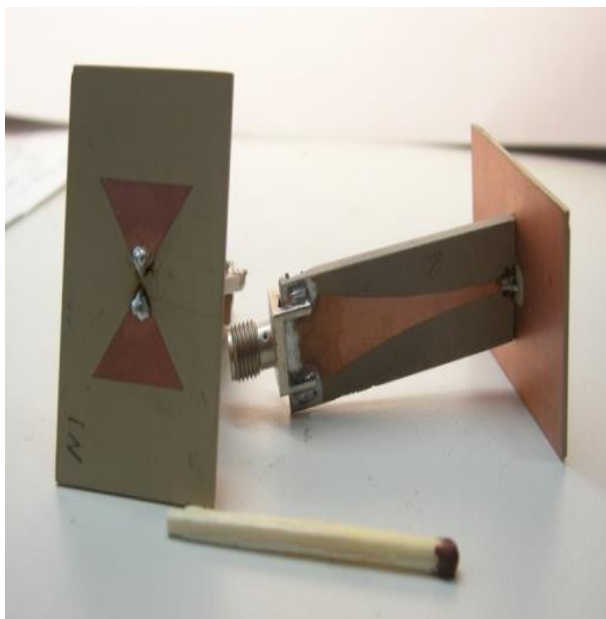


Рисунок 8 - Внешний вид антенны.

В эксперименте использовался измеритель модуля коэффициента передачи и отражения P2M-18/2, который являлся основ-

ной частью установки для измерения диаграммы направленности антенны. На рисунке 9 представлена структурная схема измерительной установки.

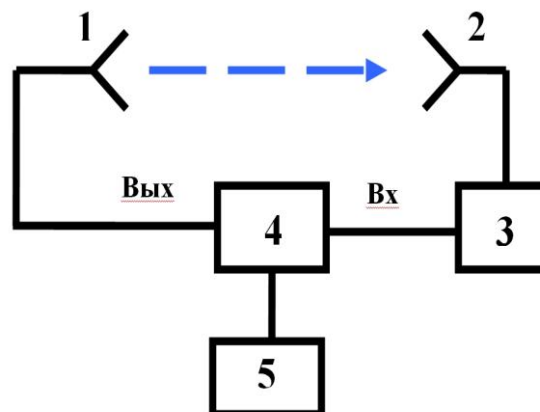


Рисунок 9 - Структурная схема экспериментальной установки: 1) передающая рупорная антенна; 2) исследуемая патч-антенна; 3) поворотный механизм; 4) измеритель комплексных коэффициентов передачи P2M-18/2; 5) ЭВМ

выхода измерителя 4 подаётся сигнал на рупорную антенну 1, а на его выходе измеряется мощность, приходящая с исследуемой антенны 2. Приемная антенна закреплена на вращающемся штативе 3, в ходе эксперимента осуществляющего поворот антенны вокруг своей оси с шагом 5 градусов. На каждом шаге на ЭВМ приходят данные с измеренной мощностью на всем диапазоне (8-12 ГГц), и сохраняются в соответствующем файле. Далее данные обрабатываются и обретают форму диаграмм. На рисунке 10 представлены рассчитанные и полученные экспериментальным путем диаграммы направленности антенны. В диапазоне от 9 до 10 ГГц диаграмма направленности совпадает с расчетной, с некоторым сдвигом по частоте. Выше и ниже этого диапазона растет уровень боковых лепестков.

Достигнуть сходимости результатов удастся корректировкой модели, а именно уменьшением величины диэлектрической проницаемости на 18% от значения этой величины, указанной в паспорте материала, выбрав величину 4,1. На рисунке 11 представлены графики зависимостей коэффициента отражения от входа антенны от частоты, полученной при измерениях, моделировании и моделировании с поправкой по диэлектрической проницаемости материала.

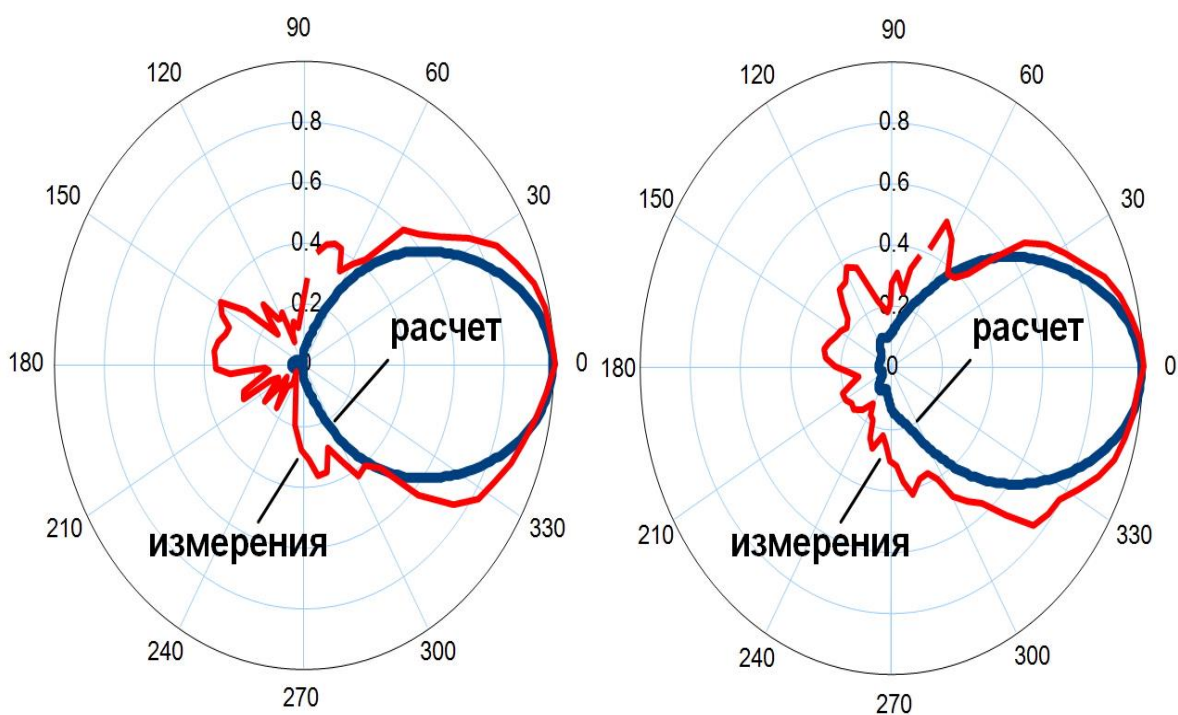


Рисунок 10 - Диаграмма направленности антенны на частоте 9,7 ГГц.

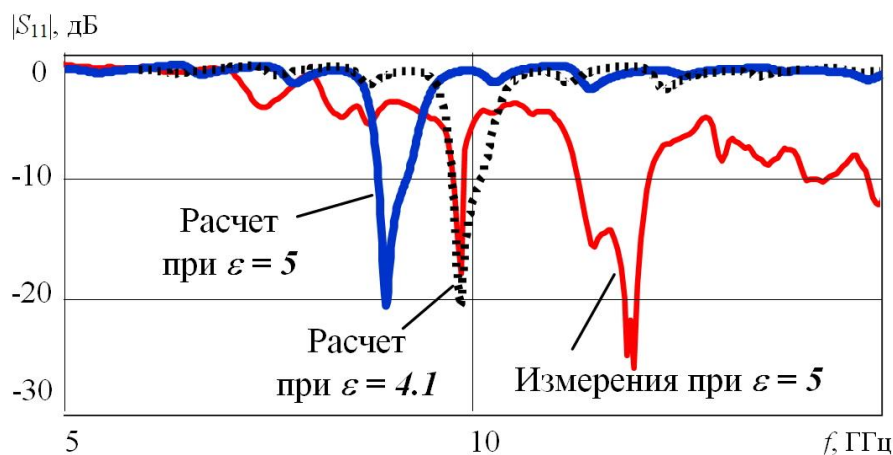


Рисунок 11 - Коэффициент отражения от входа антенны.

Данная закономерность в проектировании микрополосковых СВЧ устройств на диэлектрической подложке и моделировании их характеристик с использованием алгоритма расчета во временной области, очевидно, проявляется повсеместно в работе программного продукта. Возможно, это связано с использованием академической версии, предназначенной для освоения программы. Тем не менее, зная поправку на значение диэлектрической проницаемости материала, можно использовать расчеты на моделях при

изготовлении антенн и других микрополосковых устройств.

Выводы

В статье был рассмотрен процесс проектирования активной микрополосковой патч-антенны 3-х сантиметрового диапазона длин волн. По результатам исследования антенны можно сделать следующие выводы:

1. Активная микрополосковая антенна может быть широко применима для работы в СВЧ диапазоне длин волн за счёт простоты

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ПАТЧ-АНТЕННЫ ТРЕХСАНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

изготовления и наиболее подходящих характеристик.

2. Двухэлементная патч-антенна с треугольными плечами с модой TM₁₁ наилучшим образом подходит для монтажа бескорпусных диодов Ганна.

3. При моделировании характеристик резонансных микрополосковых СВЧ устройств на диэлектрической подложке в академической версии программы CST Microwave Studio с использованием алгоритма расчета во временной области для обеспечения сходимости расчетов и экспериментальных данных необходимо на 18% уменьшать диэлектрическую проницаемость материала подложки по сравнению с паспортным значением.

Работа при поддержке грантом президента РФ МД-5352.2013.8

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник [Текст] / Под ред. В.В. Клюева. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 2003. – 686 с.: ил.
2. Воторопин, С.Д. Автодинные минарадары КВЧ диапазона [Текст] / С.Д. Воторопин,

В.Я.Носков // XV Международная Крымская Микроволновая Конференция «КрыМи-Ко'2005»: материалы конференции, Севастополь, 12-16 Сентября 2005. – Севастополь: Вебер, 2005. – С. 937-938.

3. Люлякин, А.П. Активные автодинные КВЧ датчики для контроля различных объектов и технологических процессов [Текст] / А.П. Люлякин, А.А. Трубачев, В.И. Юрченко // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр. / под ред. А. И. Громыко, Г. С. Патрина; Сиб. федер. ун-т. – Красноярск, 2012. – С. 348-352.
4. Пат. 2064718 Российская Федерация, МКИ Н 01 L 47 / 02. Диод Ганна / Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов. – №5046020/25, заявл. 04.06.1992, опубл.27.07.1996.

Студент-магистрант Бортников И.Д., idb1@tpu.ru; д.т.н., проф. Юрченко А.В., niipr@inbox.ru - Томский политехнический университет, кафедра информационно-измерительной техники; аспирант Люлякин А.П.; аспирант Трубачев А.А. - Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, office@tusur.ru, tusur.ru, (3822) 51-05-30; начальник отдела Юрченко В.И., Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов.