

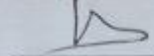
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОРДОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ Н. П. ОГАРЁВА»

Институт электроники и светотехники
Кафедра инфокоммуникационных технологий и систем связи

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

канд. техн. наук, доцент



В. В. Никулин
(подпись)

«14» 06 2018г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

**РАЗРАБОТКА ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ СИСТЕМЫ
ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ НАХОДЯЩИХСЯ ЗА ПРЕГРАДОЙ**

Автор бакалаврской работы


(подпись)

14.06.2018 М. Н. Кипайкин

(дата)

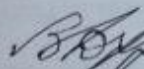
Обозначение бакалаврской работы БР-02069964-11.03.02-10-18

Направление 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Руководитель работы

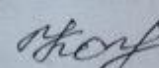
В. С. Дубровин

канд. техн. наук, доц.


(подпись)

(дата) 14.06.2018

Нормоконтролер


(подпись)

14.06.2018 Е. А. Кошечая

(дата)

канд. культурологии, доц.

Саранск

2018


Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОРДОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ Н. П. ОГАРЁВА»

Институт электроники и светотехники
Кафедра инфокоммуникационных технологий и систем связи

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

канд. техн. наук, доцент

 В.В.Никулин
(подпись)

« 22 » 11 2017г.

ЗАДАНИЕ НА БАКАЛАВРСКУЮ РАБОТУ

Студент Кипайкин Максим Николаевич

1 Тема «Разработка приемопередающего модуля системы обнаружения людей, находящихся за преградой»

Утверждена приказом № 9516-с от «24» ноября 2017 г.

2 Срок предоставления работы к защите 06.06.2018 г.

3 Содержание выпускной квалификационной работы

3.1 Основы сверхширокополосной радиолокации

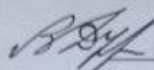
3.2 Антенны и устройства СВЧ в радиотехнических системах

3.3 СШП радиолокация биологических объектов

3.4 Моделирование СВЧ антенн с помощью программы HFSS


3.5 Моделирование СВЧ усилителя мощности с помощью программы ADS

Руководитель работы
канд. техн. наук, доц.

 27.11.2017
подпись, дата

В. С. Дубровин
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

 27.11.2017
подпись, дата

М. Н. Кипайкин
инициалы, фамилия

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 70 страницы, 45 рисунков, 14 формул, 28 использованных источников.

УВВ-ТЕХНОЛОГИЯ, СШП-СИГНАЛ, СВЧ-АНТЕННА, СВЧ-УСИЛИТЕЛЬ, БИОРАДАР, РАДИОЛОКАЦИЯ ЧЕЛОВЕКА ЗА ПРЕГРАДОЙ.

Объектом исследования являются СШП-системы, СВЧ-антенны, СВЧ-усилители, биорадиолокаторы.

Цель работы – изучить теоретический материал и существующие решения по теме исследования. Произвести моделирование и расчет характеристик двух видов СВЧ-антенн с помощью профессиональной программы HFSS. Произвести сравнительный анализ и выборку двух СВЧ-антенн для использования в приемопередающем модуле биолокатора. Произвести выбор СВЧ-усилителя для использования в приемопередающем модуле биолокатора. С помощью профессиональной программы ADS смоделировать выбранный СВЧ-усилитель и рассчитать его характеристики.

В процессе работы был произведен сравнительный анализ СВЧ-антенн; произведено исследование и моделирование СВЧ-антенн и СВЧ-усилителя мощности для приемопередающего модуля системы обнаружения людей, находящихся за преградой.

В результате исследования изучена методика решения задач, по разработке сверхширокополосного приемно-передающего модуля.

					БР-02069964-11.03.02-10-18			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Разработка приемопередающего модуля системы обнаружения людей, находящихся за преградой	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Кипайкин М. Н.		14.06.18			4	70
Провер.		Дубровин В. С.		14.06.18				
Реценз.								
Н. Контр.		Кошечкина Е. А.		14.06.18				
Утверд.		Иванов В. В.		14.06.18				
						ИЭС, ИКТС, 431		

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	7
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 Основы сверхширокополосной радиолокации	10
1.1 <i>UWB</i> -технология.....	10
1.2 <i>UWB</i> -сигнал.....	13
1.3 Преимущества использования СШП-сигналов в радиолокации	14
1.4 Области применения СШП-радиолокации.....	15
1.5 Помехи в <i>UWB</i> -системах	16
2 Антенны и устройства СВЧ в радиотехнических системах	19
2.1 Назначение антенн	19
2.2 Основные характеристики СВЧ-антенн	20
2.3 Диапазонные характеристики антенн	22
2.4 Поляризационные свойства	23
2.5 Коэффициент усиления антенны.....	26
2.6 Классификация антенн СВЧ	28
3 СШП-радиолокация биологических объектов.....	29
3.1 СШП-радиолокация биологических объектов общие сведения	29
3.2 Доплеровский СШП-радар.....	30
3.3 Шумовой СШП-радар.....	32
3.4 СШП-радиолокация человека.....	36
3.5 СШП-радар подповерхностного зондирования с непрерывным излучением.....	38

3.6 Структурная схема СШП-биорадара для обнаружения людей, находящихся за преградой	42
4 Моделирование СВЧ-антенн с помощью программы <i>HFSS</i>	43
4.1 Результаты моделирования рупорной антенны с помощью программы <i>HFSS</i>	43
4.2 Результаты моделирования щелевой антенны типа «Бабочка» с помощью программы <i>HFSS</i>	53
5 Моделирование СВЧ-усилителя мощности с помощью программы <i>ADS</i> ...	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	67
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	68

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В выпускной квалификационной работе приняты следующие сокращения и обозначения:

СВЧ – сверхвысокие частоты;

СШП – сверхширокополосный;

ДН – диаграмма направленности;

РЛС – радиолокационная станция;

HFSS – High Frequency Structural Simulator;

ADS – Advanced Design System;

КПД – коэффициент полезного действия;

ГКРЧ – государственная комиссия по радиочастотам;

ФАР – фазированные антенные решетки;

ПК – персональный компьютер;

КУ – коэффициент усиления;

ЧХ – частотная характеристика;

ЭПВ – эффективная площадь рассеяния;

КНД – коэффициент направленного действия;

ЭМП – электромагнитное поле;

ЭВМ – электронно- вычислительная машина;

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;

ФЧХ – фазочастотная характеристика.

					БР-02069964-11.03.02-10-18	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		7

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к разработке приборов для обнаружения живых людей под завалами разрушенных зданий при ликвидации последствий землетрясений и других природных или техногенных катастроф. Это связано с потребностями оснащения поисково-спасательных групп мобильными техническими средствами для поиска живых людей. Наличие таких приборов существенно повысило эффективность проведения спасательных работ, позволяя спасателям работать не вслепую, а после сканирования значительных областей, конкретно по обнаруженной прибором «цели» – человеку, подающему признаки жизни. Не надо говорить, насколько важно быстро обнаружить живого человека, поскольку шансы на выживание у людей резко понижаются с каждым часом пребывания под завалом [1]. Данные устройства строятся на использование СШП-сигналов.

Сравнительно новым направлением в развитии систем радиосвязи является сверхширокополосная связь.

Открытие СШП-сигнала привело к значительному расширению областей его применения, от обычной радиолокационной системы до биорадиолокаторов [2]. Особый интерес к системам с сверхширокополосными сигналами вызван целым рядом причин, среди которых на первом плане – скрытность систем связи. Полезный сверхширокополосный сигнал в обычных системах связи распознается как помеха, однако в системах с СШП происходит «маскировка» полезного сигнала широкополосным шумом.

Создание новой элементной базы и новейших технологий позволило осуществить практическую реализацию новейших направлений в развитии систем радиосвязи, в том числе создание биолокаторов для дистанционного мониторинга, например, людей, находящихся под завалами в результате природных и техногенных катастроф.

Работы по исследованию сверхширокополосных сигналов начинались еще в 90-х годах прошлого века, как за рубежом, так и в СССР. Большой вклад в развитие теории и практического применения сверхширокополосных сигналов, внесли советские и российские учёные Иммореев И. Я, Радзиевский В. Г., Трифонов П. А. и др. [3].

Научные исследования в области широкополосной и сверхширокополосной связи продолжают в настоящее время в ряде западноевропейских стран (Германия, Швейцария, Великобритания), в США и Канаде, а также в России.

Задачей работы является:

- 1) изучение теоретических материалов и существующих решений по теме выпускной квалификационной работы;
- 2) моделирование и расчет характеристик двух разных видов СВЧ-антенн с помощью профессиональной программы *HFSS*;
- 3) произвести сравнительный анализ и выборку двух СВЧ-антенн для использования в приемопередающем модуле для обнаружения людей;
- 4) выбрать СВЧ-усилитель антенн для использования в приемопередающем модуле для обнаружения людей;
- 5) произвести моделирование и расчет характеристик СВЧ-усилителя в профессиональной программе *ADS*.

1 Основы сверхширокополосной радиолокации

1.1 UWB-технология

Беспроводная технология связи *UWB* (англ. *Ultra Wide Band*) кардинальным образом отличается от всех других беспроводных коммуникационных систем. Основное отличие *UWB*-технологии состоит в том, что она не использует радиочастотную несущую, а вместо этого – короткие и сверхкороткие модулированные импульсы.

Общеизвестно, что идеальный импульс бесконечно малой длительности обеспечивает (теоретически) бесконечную полосу пропускания. В качестве примера на рисунке 1.1 изображен одиночный радиоимпульс, напоминающий серию импульсов.

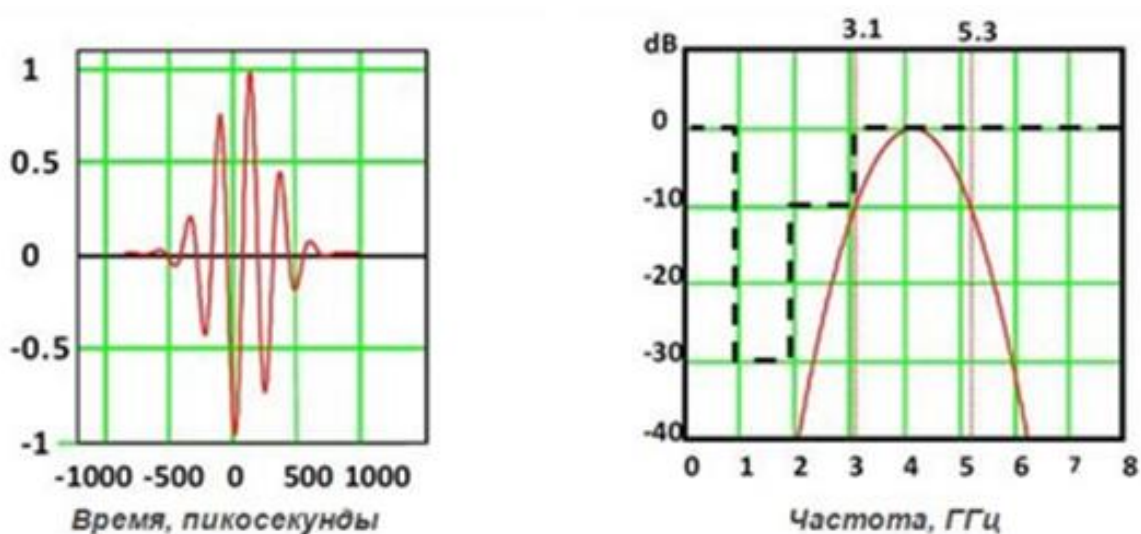


Рисунок 1.1 – Временная развертка (слева) и частотная характеристика (справа)

Информация передается при помощи амплитудной манипуляции с пассивной паузой. Этот вид манипуляции обеспечивает простоту обработки данных при сохранении всех достоинств сверхширокополосных систем связи.

Информационная емкость *UWB* – систем значительно превосходит другие известные в настоящее время системы беспроводной связи, что дает возможность реализовать быстродействующие беспроводные системы/сети связи с высокой пропускной способностью.

Формула Шеннона позволяет определить максимальное количество информации, передаваемой по каналу связи, то есть вычислить предельную пропускную способность этого канала связи

$$C = D_F \log \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right), \quad (1.1)$$

где D_F – рабочая полоса частот канала;

P_S – мощность сигнала;

P_N – мощность шумов в частотной полосе.

Из формулы 1.1 следует, что при заданной полосе частот увеличить объем передаваемой информации по каналу можно за счет повышения мощности сигнала. Но, поскольку современные системы связи относительно узкополосные и каждая работает в отведенной для нее полосе частот, требования к электромагнитной совместимости ограничивают излучения сигналов в системах связи за пределами отведенной полосы. Эти излучения можно назвать нежелательными. Ограничения на нежелательные излучения по сути дела ведут к ограничению мощности сигнала.

Сверхширокополосный сигнал (по определению Федеральной комиссии связи США) – сигнал с относительной полосой частот более 0,2 или с шириной спектра более 0,5 ГГц.

Относительную полосу частот можно определить по формуле

$$h = 2 \times \frac{F_B - F_H}{F_B + F_H}, \quad (1.2)$$

где F_B – верхняя, а F_H – нижняя частоты спектра сигнала (по уровню 10 дБ) относительно средней частоты излучаемого сигнала.

В настоящее время в США и некоторых других странах для внутриофисного применения диапазон рабочих частот сверхширокополосных систем определен в пределах 3100 – 10600 МГц [4].

В сетях, использующих технологию *UWB*, обеспечивается очень большая скорость – до 480 Мбит/с. Справедливости ради следует отметить, что такая скорость обеспечивается на очень небольших расстояниях (до 3-х метров). На расстоянии до 10-ти метров данная технология обеспечивают скорость лишь 110 Мбит/с, что, в принципе, тоже немало.

Однако здесь и скрывается основная проблема, в том, что пропускная способность с увеличением расстояния падает гораздо быстрее, чем, например, у стандарта для беспроводных сетей 802.11a/g, которые обеспечивают пропускную способность до 54 Мбит/с на дистанции уже до 100 м.

Суть проблемы в том, дисперсия электромагнитного излучения широкополосного сигнала (в сравнении с узкополосным) приводит к весьма значительным искажениям ШПС. С увеличением расстояния искажения начинают накапливаться и, в конечном итоге, возникает ситуация, когда сигнал на входе приемного устройства практически уже не имеет ничего общего с тем, что было передано с помощью передающего устройства. Налицо частичная или полная потеря информации. Распространение технологии *UWB* на достаточно большой площади для передачи данных с большими скоростями и реализации услуги позиционирования требует создания сети передачи данных с достаточно близко расположенными точками доступа.

1.2 *UWB*-сигнал

Формирование СШП-сигнала с управляемой шириной спектра можно рассмотреть на примере импульсной модуляции с ультракороткими импульсами гауссовой формы [5]:

$$S_g(t) = A \left[1 - 4\pi \left(\frac{t}{\tau} \right)^2 \right] \exp \left[-2\pi \left(\frac{t}{\tau} \right)^2 \right], \quad (1.3)$$

где A и τ – соответственно амплитуда и длительность сигнала.

В сигнале такой формы отсутствует постоянная составляющая, а спектр такого импульса можно определить с помощью выражения

$$S_g(f) = A\sqrt{2} \pi \tau (\tau f)^2 \exp \left[-\frac{\pi}{2} (\tau f)^2 \right]. \quad (1.4)$$

Такой одиночный импульс является широкополосным сигналом с центральной частотой и шириной полосы, которые полностью определяются длительностью этого сигнала, центральная частота которого обратно пропорциональна длительности импульса. Поскольку вся мощность сигнала распределена в очень широком диапазоне частот, спектральная плотность мощности такого сигнала чрезмерно малой и поэтому напоминает обычный шумовой фон [6].

Для того чтобы не создавать помех другим приемным устройствам, чьи диапазоны перекрывают спектр излучаемого импульса, можно управлять шириной спектра (за счёт изменения длительности импульса τ), а также снижать уровень усредненной спектральной плотности формируемого сигнала (за счёт уменьшения периода повторения импульсов T).

Технология *UWB* как и любая другая имеет недостатки [7]: негибкость управления спектром излучаемого сигнала; на частотах, кратных $1/T$, возникают

острые и высокие максимумы в спектральной плотности мощности. Для более эффективного использования диапазона передачи данных можно осуществить, например, с помощью широкополосных радиоимпульсов. При этом вся используемая разрешённая полоса разбивается на поддиапазоны, и в каждом из них выбираются свои параметры импульса, для исключения перекрытия соседних поддиапазонов.

К сигналам, которые могут использоваться в СШП-системах, относятся [8]:

- 1) ультракороткие импульсы;
- 2) короткие радиоимпульсы – цуги колебаний;
- 3) хаотические радиоимпульсы;
- 4) пачки коротких импульсов;
- 5) сигналы с прямым расширением спектра;
- 6) сигналы с ортогонально-частотным мультиплексированием (OFDM);
- 7) СШП-сигналы на основе частотной (*FM* – англ. *Frequency Modulation*) модуляции *FM UWB*.

1.3 Преимущества использования СШП-сигналов в радиолокации

Работа со сверхширокополосными сигналами в радиолокационных системах позволяет получить следующие преимущества по сравнению с применением узкополосных сигналов:

- увеличивается разрешающая способность и точность измерения расстояний до целей;
- становится возможным вести наблюдение в условиях сильных помех, обнаруживать цели с малой ЭПР на небольшой высоте или на поверхности суши или моря [9];

– отраженный зондирующий сигнал несет в себе информацию, как об объекте в целом, так и о каждом из его элементов в отдельности.

Для коротких импульсов цель наблюдения становится протяженным объектом.

Поэтому при радиолокационном наблюдении с использованием СШП-сигналов говорят о портрете цели – сложной последовательности импульсов, отраженных от отдельных элементов цели. Параметры данной последовательности зависят от геометрии цели и импульсных характеристик отдельных ее элементов такие как:

- эффективная площадь рассеяния при наблюдении с помощью СШП-сигналов зависит от времени, которая будет изменяться при смене ракурса [10];
- СШП РЛС обеспечивают электромагнитную совместимость с узкополосными РЛС.

Поскольку постоянная времени входной цепи узкополосного приемного устройства будет намного больше длительности импульса СШП-радара, то за время действия сверхкороткого импульса помеха, возникающая от него в приемнике узкополосного локатора, не успеет достигнуть критической величины [11]. По этой причине при совместной работе сверхширокополосного радара с обычным узкополосным локатором лишь незначительная часть энергии СШП-радара попадает в полосу частот приемного устройства.

1.4 Области применения СШП-радиолокации

Рассмотрим основные области применения сверхширокополосных радиолокационных систем. Впервые сверхширокополосные сигналы наносекундных и пикосекундных длительностей стали использоваться в подповерхностной радиолокации, где получили большое развитие. Также широкое распространение СШП-радиолокация получила в военной отрасли. Сверхширокополосные РЛС высоко ценятся за хорошие показатели

распознавания целей, получение их качественных изображений и селекции, обеспечение скрытности от систем разведки и радиоэлектронной борьбы, низкую вероятность перехвата сигналов, предотвращения поражения со стороны противорадиолокационных управляемых ракет. Проявила себя технология и при обнаружении и наблюдении объектов на коротких дистанциях. Дальность составляет от единиц и десятков метров до нескольких километров.

Такие радары обнаруживают объекты в плотных средах (почва, лед) и объекты в воздухе.

Особо важно то, что сверхширокополосная радиолокация позволяет обнаруживать закрытые мины, в том числе и пластиковые, которые не обнаружить обычными миноискателями. СШП-системы успешно позволяют выявить несанкционированное проникновение, точно определяют местоположение и расстояние, при этом работая через различные радиопрозрачные препятствия (завалы, стены зданий, скрытые растительностью). РЛС короткой и средней дальности оказываются довольно простыми по конструкции и имеют небольшой объем аппаратуры [12]. СШП РЛС используют для получения качественного информативного радиоизображения при картографировании местности и при поиске на местности скрытых или замаскированных объектов [9]. Возможность дистанционного мониторинга дыхания и сердцебиения человека позволяет использовать СШП-системы, как для нужд медицины, так и для военного применения [13].

1.5 Помехи в *UWB*-системах

Как и на любую систему радиосвязи на системы *UWB* влияют помехи. Помехи могут иметь различные источники. Различают помехи многостанционного доступа, сосредоточенные помехи, межсимвольные помехи и межцикловые помехи. В сравнении с аддитивным белым шумом эти помехи «цветные» и их корреляционные свойства можно использовать для улучшения

схемы приемника. Ниже описаны некоторые из основных источников помех на систему *UWB* [14].

1) Межцикловые помехи. Помехи этого типа возникают, когда минимальный промежуток времени между импульсами короче максимально допустимой задержки в канале. Если есть возможность взятия отсчетов с частотой следования циклов (или чаще), то можно применить ту или иную форму подавления помех. Подавление межцикловых помех повышает сложность приемника, но его качественные показатели и скорость передачи данных существенно возрастают.

2) Межсимвольные помехи. Эта проблема возникает в высокоскоростных системах. Для борьбы с межсимвольными помехами могут применяться корректоры.

3) Сосредоточенные (узкополосные) помехи. Очень низкая мощность передачи и широкий рабочий диапазон позволяют системам *UWB* сосуществовать с различными узкополосными системами, не создавая им помех. Однако узкополосные сигналы могут оказывать сильное влияние на сигнал *UWB* и даже полностью «заглушать» приемник *UWB*. Даже если узкополосная помеха действует лишь в небольшой части спектра сигнала *UWB*, она может существенно ухудшить качественные показатели и пропускную способность системы *UWB* из-за того, что мощность узкополосных сигналов намного больше мощности сигнала *UWB*. Поэтому для улучшения характеристик приемника, пропускной способности и дальности передачи может возникнуть необходимость использовать в приемнике *UWB* методы подавления сосредоточенных помех.

4) Помехи многостанционного доступа. Очень важно обеспечить сосуществование большого числа передатчиков *UWB*, расположенных близко друг к другу. Сигналы всех пользователей передаются в одном и том же диапазоне частот. В идеале желательно, чтобы коды всех пользователей были ортогональными. Однако на практике сигналы, принимаемые от различных

пользователей, не ортогональны из-за асинхронной передачи в условиях многолучевого распространения. В результате, помехи многостанционного доступа остаются серьезной проблемой систем связи *UWB*.

					БР-02069964-11.03.02-10-18	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		18

2 Антенны и устройства СВЧ в радиотехнических системах

2.1 Назначение антенн

На сегодняшний день невозможно представить современную радиотехническую технику без антенных систем, которые обслуживают их тракты СВЧ [15].

К антенным устройствам предъявляется большое количество требований, а самые основные – направленность действия антенны, проще говоря, электромагнитная мощность в пространстве, которая распределяется по конкретному закону.

Желательно обеспечивать, чтобы у антенны наблюдалось равномерность действия по всем направлениям, в остальных необходимо сконцентрировать излучения и осуществить радиоприемы так, чтобы они находились в пределах довольно узкого сектора, а именно углового, который называется лучом. Чтобы сформировать узконаправленный луч, антенные параметры, а именно размеры антенны должны быть во много раз больше, чем рабочая длина волны радиотехнических систем. Еще одно важное требование, когда радиоприем антенны или излучение антенны обязаны сопровождаться потерями электромагнитной мощности на нагрев диэлектриков и проводников, размеры которых малы по сравнению с длиной волны [15].

Функционирование антенн происходит в реальных условиях и тем самым свойство среды, погодные условия в которых происходит распространение электромагнитных волн, оказывают огромное значение для определения рабочих частот, а также параметров антенн.

Тракты СВЧ, например, волноводы, обеспечивающие оптимальный режим (согласование) работы выходных и входных цепей передатчика и приемника, играют важную роль в функционировании радиотехнических систем, поскольку осуществляют канализацию электромагнитных волн. Также выполняется предварительная частотная фильтрация сигналов, которая может содержать

					Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	БР-02069964-11.03.02-10-18

коммутирующие цепи, устройства, управляющие положением луча антенны в пространственной среде и поляризации радиоволн, также устройства контроля, которые отслеживают функционирование системы.

Антенные устройства помимо основных своих функций в излучении и приеме радиоволн, выполняют важнейшие функции в фильтрации радиосигналов в пространственной среде [15].

2.2 Основные характеристики СВЧ-антенн

Проектирование и разработка антенно-фидерных устройств (АФУ) любой радиотехнической системы проводится на основании технических требований (ТТ), в которых должны быть отражены характеристики создаваемого устройства. К основным характеристиками антенно-фидерных устройств можно отнести [16]:

1) коэффициент направленного действия (КНД) – основная характеристика антенн, которая определяет неравномерность излучения (или приема) антенн в различных направлениях. Так же для оценки направленности действия всех антенных, которые существуют, есть понятие абсолютно ненаправленной антенны – изотропного излучателя, который может излучать электромагнитную энергию равномерно во все стороны. Непременно, все существующие антенны обладают той или иной направленностью действия;

2) диаграмму направленности – это графическое изображение характеристики направленности. Говоря об антеннах, можно сделать вывод, что большинство антенн являются остронаправленными, то есть концентрируют излучения в небольшом телесном угле и имеют ДН игольчатые (или «карандашного» типа, веерного и другие. Для остальных наземных устройств можно называть антенну ненаправленной, если она имеет в горизонтальной плоскости круговую (равномерную) ДН;

3) энергетическая характеристика она определяет значения и изменения в процессе работы ряда величин (допустимый тепловой режим, мощность потерь в АФУ, мощность шумов на входе приемника, мощность, необходимая для управления положения луча в пространстве, и т.д.).

Значения этих параметров связаны с КПД, шумовой температурой, входным сопротивлением антенны, волновым сопротивлением фидера;

4) частотные характеристики антенны непосредственно связаны с частотой сигнала. Изменение частоты приводит к изменению направленности действия антенны и энергетических характеристик. Когда рассматриваются частотные характеристики антенно-фидерных устройств, необходимо различать требования, которые предъявляются к рабочему диапазону и полосе частот. Необходимая полоса частот будет определяться спектром сигнала, передаваемого антенной. В принципе при изменении рабочей частоты радиосистемы допускается синхронное изменение некоторых параметров антенны на определенных (выделенных) участках волн;

5) характеристики управления антенно-фидерных устройств показывают изменение направленных и других свойств антенн в процессе работы;

б) антенно-фидерное устройство, также имеет ряд общетехнических и экономических характеристик, то есть это сложность или простота устройства, масса и габариты, надежность работы, механическая прочность, стоимость, простота, удобство в эксплуатации, контроль и ремонт и другие. Все эти требования общего характера при разработке антенного устройства являются не менее важным, чем все требования к электрическим характеристикам.

Выполнение поставленных требований можно достичь не только соответствующими конструктивными решениями, технологией, применением специальных материалов, но и выбором схмотехнического построения устройства, режима работы и т.д. Все эти основные требования к характеристикам разрабатываемого антенного устройства в каждом отдельном случае достаточно различны, а также зависят от назначения.

Требования, предъявляемые к характеристикам антенных устройств, с увеличением объема обрабатываемой информации радиосистемы (увеличение дальности действия, разрешающей способности, точности определения координат, быстродействия, помехозащищенности и т.д.) будут, естественно, возрастать.

Расчет и конструирование современных антенн значительно усложнилось, это произошло из-за увеличения числа характеристик, которые подвергаются определению, а также стремлению оптимизировать и более точно рассчитать характеристики антенн, прибегая к нахождению оптимального варианта антенной системы по заданным требованиям, тем самым увеличивается объем всех расчетов. Расчет и проектирование антенных систем является достаточно сложной инженерной задачей, поэтому общую задачу при расчете и проектировании искусственно разделяют на ряд отдельных частных задач. Такой подход дает возможность рассчитывать характеристики сложных антенных систем и искать варианты, которые наилучшим образом соответствуют поставленным требованиям.

2.3 Диапазонные характеристики антенн

Диапазоном рабочих частот или полосой пропускания антенны называется интервал частот от f_{min} до f_{max} , в пределах которого все параметры антенны не выходят из заданных пределов:

$$\Delta f = f_{max} - f_{min}, \quad (2.1)$$

Диапазон рабочих частот антенны чаще всего выражают в процентах к средней частоте диапазона.

$$\frac{\Delta f}{f_{cp}} = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_{max} + f_{min}} \times 2 \times 100\%, \quad (2.2)$$

									Лист
									22
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	БР-02069964-11.03.02-10-18				

Если $\frac{\Delta f}{f_{cp}} < 100\%$, то антенна-узкополосная.

Если $10\% < \frac{\Delta f}{f_{cp}} < 100\%$, антенна-широкополосная.

Если $\frac{\Delta f}{f_{cp}} > 100\%$, то антенна-широкодиапазонная.

Диапазон рабочих частот широкополосных антенн можно оценить с помощью коэффициента перекрытия диапазона

$$K_d = f_{max} \times \frac{1}{f_{min}}. \quad (2.3)$$

2.4 Поляризационные свойства

Поляризация электромагнитных волн – это характеристика, которая описывает поведение вектора напряженности поля по отношению к горизонту. Следует отметить, что электромагнитное поле является разделенным в пространстве, а магнитная составляющая поля всегда расположена под углом 90° по отношению к электрической составляющей, отсюда и произошел термин поляризация. Под плоскостью поляризации следует понимать плоскость, проходящую через вектор E относительно вектора волны Π , принято называть плоскостью поляризации, а картинной плоскостью при этом будет плоскость, которая проходит через вектора E и H . На (Рис. 2.1) [17, с. 29] показана поляризация вектора E .

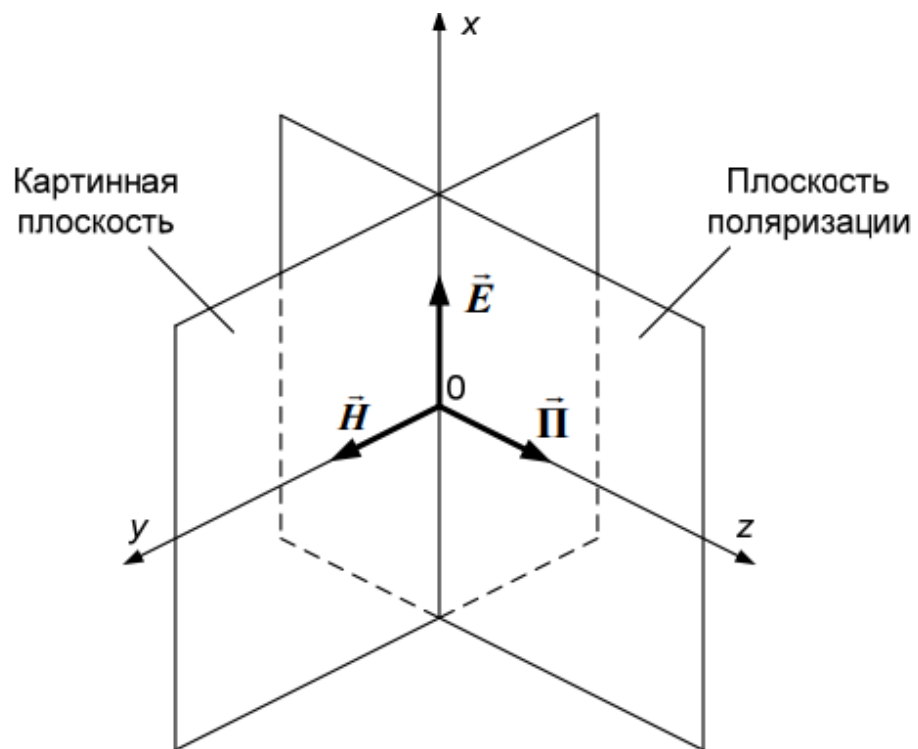


Рисунок 2.1 – Поляризация вектора E

Поляризацию можно разделить на следующие группы[17]:

- 1) линейная поляризация. Она возникает в том случае, когда ее положение в пространстве остается неизменным в горизонтальной, вертикальной или наклонной плоскости;
- 2) круговая поляризация – когда ее плоскость вращается относительно вектора E со скоростью $\omega = 2\pi f$ относительно распространения поля, и делает один оборот за одно колебание.

Проекцией вектора E на картинную плоскость является эллипс. Поляризационный эллипс – это геометрическая фигура, которая состоит из точек проекции конца вектора E за один оборот поля, а поляризация носит название эллиптической.

Эллипс поляризации имеет следующие свойства:

– коэффициент эллиптичности – это отношение осей эллипса друг к другу $K_э = \frac{b}{a}$, и коэффициент эллиптичности имеет прямую зависимость от угловой координаты точек наблюдения $K_э = K_э(\theta, \varphi)$;

– углом наклона поляризационного эллипса называется угол наклона, который составляет ось системы координат по вертикали и большая ось эллипса;

– за направление вращения вектора E берется вращение вслед уходящей волне, и разделяется на правое - направлено по часовой стрелке, и левое – против. При правом вращении коэффициент эллиптичности имеет положительное значение: $0 < K_э < 1$, а при левом отрицательное: $-1 < K_э < 0$.

В случае, когда $K_э = 0$, то эллипс – прямая, соответственно, поляризация линейная.

Поляризационной характеристикой (ПХ) называется зависимость электродинамической силы приемной антенны в картинной плоскости, и получается, что поляризационный эллипс находится внутри поляризационной характеристики. Рисунки 2.3, 2.4, 2.5 позволяет наглядно увидеть ПХ антенн в зависимости от вида поляризации.

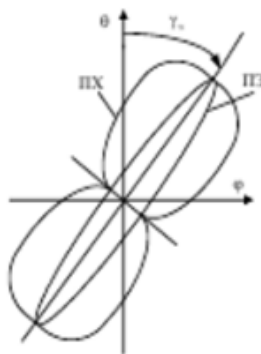


Рисунок 2.3 – Поляризационная характеристика антенны имеющую эллиптическую поляризацию

На рисунке 2.3 ПХ антенна имеет эллиптическую поляризацию, где $0 < K_э < 1$.

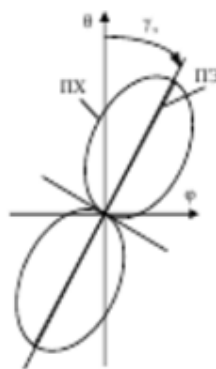


Рисунок 2.4 – Поляризационная характеристика антенны имеющую линейную поляризацию

На рисунке 2.4 ПХ антенны имеет линейную поляризацию, где $K_3 = 0$.

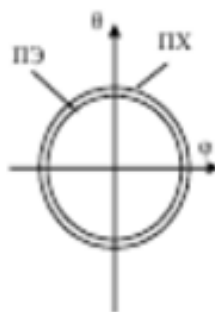


Рисунок 2.5 – Поляризационная характеристика антенны имеющую круговую поляризацию

На рисунке 2.5 ПХ антенны имеет круговую поляризацию, где $K_3 = 1$.

2.5 Коэффициент усиления антенны

Под коэффициентом усиления антенны подразумевают соотношение мощности антенны-эталоны и антенны мощность, на входе которой, рассматривается. При этом обе антенны должны создавать в одинаковом направлении и на одинаковом расстоянии идентичные значения напряженности или плотности потока [18].

Единицей измерения КУ является децибел, то есть эта величина безразмерная, и обозначается буквой G от слова *Gain*.

Физический смысл коэффициента усиления – это на какую величину необходимо увеличить мощность передатчика на выходе, если предположить, что сигнал поступает на вход ненаправленной эталонной антенны, для того, чтобы получить такую мощность потока антенны, при которой мощность ЭМВ антенны в точке наблюдения осталось неизменным. Предполагается, что коэффициент полезного действия эталонной антенны равняется единице.

Обычно рассчитывается антенна, имеющая КУ со значением G_0 по направлению максимального значения диаграммы направленности антенны. Получается, что КУ принимает количественное значение. Это значение показывает, насколько сильно антенна способна концентрировать мощность ЭМВ по узкому лучу, учитывая потери, возникающие за счет конструктивных недоработок и помех от близко расположенных объектов.

Учитывая эти факторы можно сделать вывод, что КУ имеет прямую зависимость от коэффициента направленного действия антенны (D), и КПД (η): $G = D \times \eta$. При расчете КПД принято опускать потери мощности от отражения, или оговаривать их заранее.

Коэффициент усиления, рассчитанный по направлению к максимуму диаграммы направленности, может иметь положительное значение до миллионов единиц. Если антенна имеет отрицательное значение КУ, то это означает что КПД такой антенны низкий. Это может происходить из-за конструктивных особенностей антенны (малогабаритная, укороченная, и пр.) или же мощность антенны занижается намеренно за счет установки поглощающих элементов: антенны с широким диапазоном частот, антенны, устанавливающиеся на малых высотах.

Значение КУ для антенны вовсе не означает, что направленность ее будет низкая, и наоборот. Высокий показатель при узкой диаграмме направленности

скорее всего покажет, что антенна плохо излучает радиоволны. Например, антенна Бевереджа.

Она обладает КУ с отрицательным значением в -15дБ, и КНД +15дБ, и обеспечивает гораздо лучшее значение устойчивого сигнала (по отношению помехи/шум), чем штыревые или вибраторные антенны, имеющие гораздо более эффективные расчетные показатели.

2.6 Классификация антенн СВЧ

В соответствии с принятой классификацией антенны, работающие в диапазонах дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волн (300 МГц – 300 ГГц) относят к СВЧ-антеннам [18].

Антенны СВЧ по своим особенностям можно разделить на:

- 1) рупорные антенны;
- 2) зеркальные антенны;
- 3) линзовые антенны;
- 4) щелевые антенны;
- 5) диэлектрические стержневые антенны;
- 6) антенны на поверхностных волнах;
- 7) спиральные антенны.

Антенные решетки могут быть построены на любых типах излучателей выше перечисленных типов антенн. Также все типы антенн СВЧ в соответствии с методами их расчета можно и удобно разделять на:

- 1) апертурные антенны;
- 2) антенны бегущей волны;
- 3) фазированные активные решетки (ФАР).

3 СШП-радиолокация биологических объектов

3.1 СШП-радиолокация биологических объектов общие сведения

В современной радиотехнике биолокации объектов занимает достойное место и является интенсивно развивающимся направлением радиоэлектроники. В отличие от классических областей применения радиолокации, в которых, как правило, объектами зондирования являются неживая природа (поверхность Земли и планет Солнечной системы) или искусственно созданные предметы (космические аппараты, самолеты, другие объекты военной техники), локация биообъектов имеет целый ряд особенностей, что позволяет выделить ее в отдельную область знаний получившей название биорадиолокация [19].

К особенностям биорадиолокации относят использование аппаратуры, как правило, незначительной дальности действия (от нескольких сантиметров до десятков метров) с пониженным уровнем излучения, не оказывающим вредного воздействия на организм человека. Кроме этого характеристики самих объектов зондирования в части их электрофизических свойств, а также частот и амплитуд колебаний органов человека и животных носят достаточно специфический характер и для правильной интерпретации результатов измерений требуют привлечения исследователей биоинженерных специальностей.

Следует отметить также, что в отечественной и зарубежной научно-технической литературе термин, близкий по смыслу к термину «биорадиолокация», отсутствует, в силу чего введение его в научный оборот с учетом возросшего объема исследований и публикаций в этой области представляется вполне обоснованным [19].

Использование радиолокаторов для обнаружения живых людей, находящихся за преградами, и дистанционное определение параметров их дыхания и сердцебиения нашло применение в спасательных операциях, антитеррористической борьбе, медицине и других областях.

Для решения подобных задач наиболее широко используются импульсные СШП радиолокаторы, а также локаторы со ступенчатым непрерывным излучением изменением частоты.

3.2 Доплеровский СШП-радар

Обзор СШП радаров малой мощности, предназначенных в том числе и для медицинских целей, приведен в работе [20]. Обобщённая блок-схема СШП-радары малой дальности приведена на рисунке 3.1.

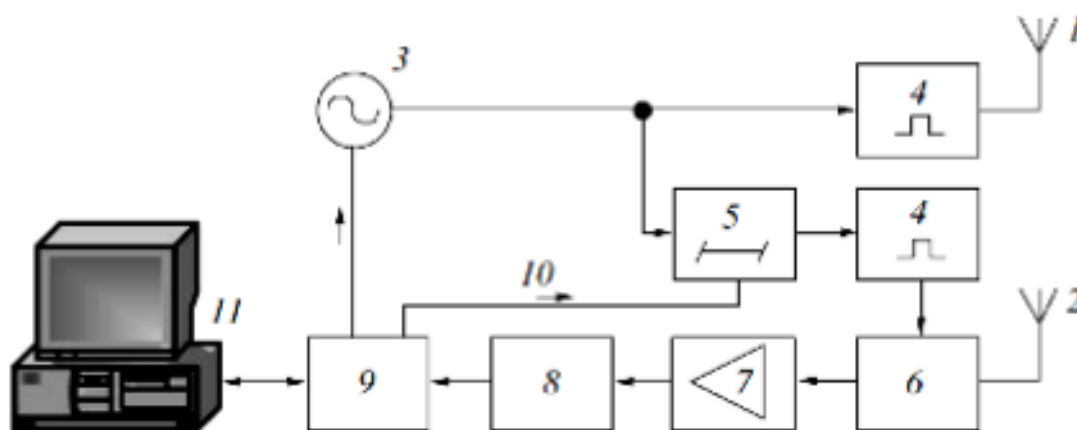


Рисунок 3.1 – Обобщенная блок-схема доплеровского СШП радара

- где 1 – передающая антенна;
 2 – принимающая антенна;
 3 – задающий генератор;
 4 – формирователь коротких импульсов;
 5 – линия задержки;
 6 – амплитудный или фазовый детектор;
 7 – интегрирующий усилитель;
 8 – аналого-цифровой преобразователь;
 9 – микроконтроллер;
 10 – управление линией задержки;

11 – компьютер.

В сверхширокополосных радарах данного типа могут применяться передатчики двух видов. В первом варианте задающий генератор задает однополярные видеоимпульсы большой длительности.

После чего попадают в формирователь передатчика для преобразования в видеоимпульсы малой длительности. Данные импульсы производят «ударное» возбуждение передающей СВЧ-антенны. Антенна излучает короткие радиоимпульсы на средней частоте.

Параметрами СВЧ-антенны задается длительность излучаемого радиоимпульса. Затем импульсы поступают на второй формирователь который создает аналоговый видео импульс. Из-за этого СШП-радары часто называют видео импульсными. Аналоговый видеоимпульс в свою очередь открывает приемник в момент, когда придет отраженный сигнал. Такой передатчик имеет низкий КПД, ввиду того, только небольшая часть видеоимпульса попадает в полосу пропускания антенны [20]. Подобные передатчики используются в тех случаях, когда энергетика радара не стоит на первом месте, а необходимо простое схемное решение.

Во втором исполнении передатчик построен на когерентной схеме. Формирование радиоимпульсов происходит в задающем генераторе. Далее формирователь «вырезает» небольшой импульс, излучаемый СВЧ-антенной. Как и в первом случае сигнал через управляемую линию задержки попадает в формирователь. Он генерирует опорный сигнал который открывает приемник на небольшой промежуток времени. Если мы хотим изменить расстояние от цели до радара.

Если необходимая для поиска цель неподвижная в сверхширокополосном радаре используется некогерентный режим, а если объект подвижен, то когерентный режим. Соответственно, на входе приемника применяется амплитудный или фазовый детектор. При использовании амплитудного

детектора импульсы с его выхода усиливаются затем происходит процедура оцифровки. Затем импульсы поступают в микроконтроллер [20].

При использовании фазового детектора импульсы с его выхода подаются на интегрирующий усилитель. Потом импульсы попадают в полосовой фильтр которой выделяет диапазон рабочих доплеровских частот радара и производит накопление сигнала. После накопления импульсы оцифровываются и поступают в микроконтроллер.

Микроконтроллер производит управление всеми операциями радара в соответствии с заданным алгоритмом, а также подготавливает данные для дальнейшей обработки в компьютере.

Данный тип СШП-радаров нашел широкое применение в медицине, в специальных структурах, таких как МЧС, ФСБ. Для удаленного и бесконтактного определения физиологических параметров человека, таких как частота дыхания и частота сердечного ритма, используются радары малой дальности [20].

3.3 Шумовой СШП-радар

В работе [21] исследуется СШП шумовой радар с непрерывным излучением работающий в дециметровом диапазоне от 1 до 2 ГГц.

Структурная схема прибора, предназначенного для мониторинга объектов, находящихся за оптически непрозрачными преградами, изображена на рисунке 3.2.

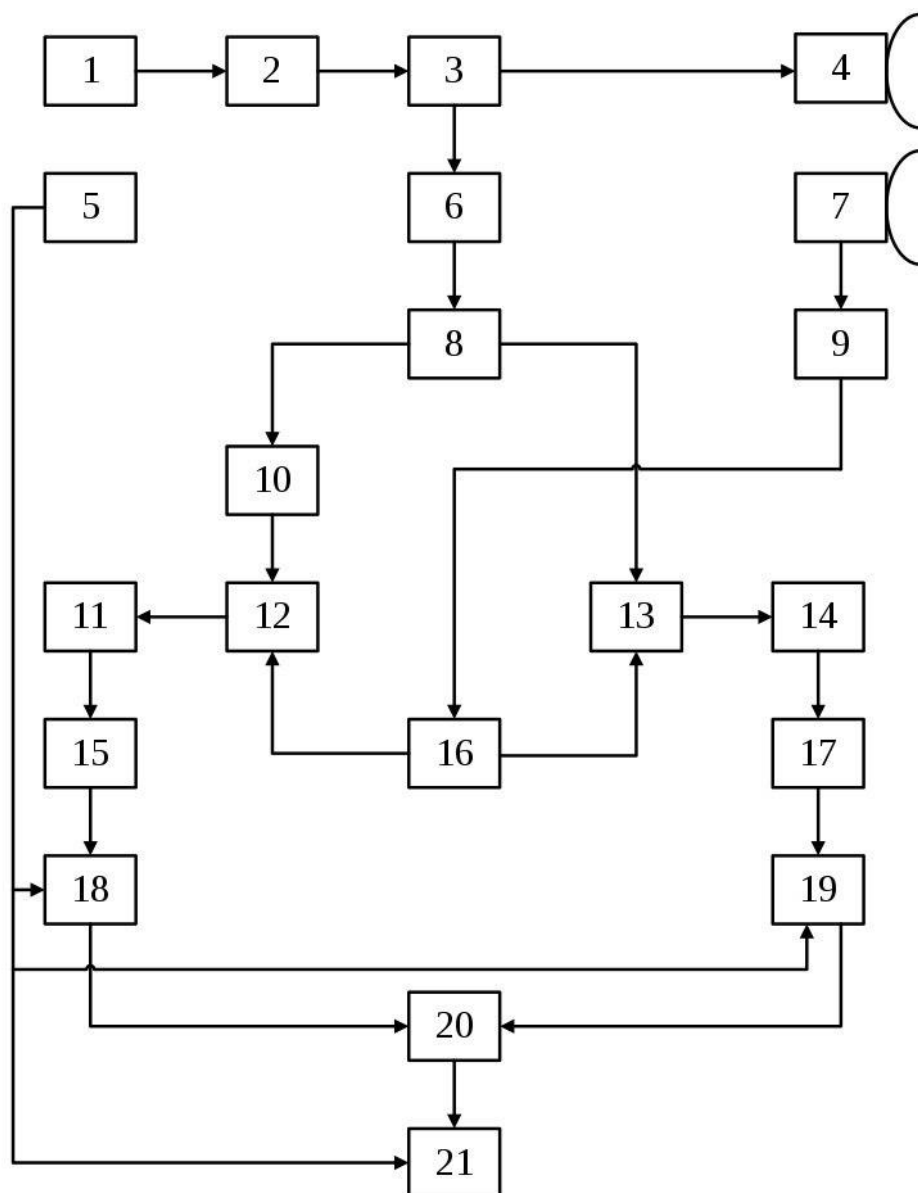


Рисунок 3.2 – Структурная схема шумового радара

Шумовой радар состоит из сверхширокополосного шумового генератора 1, усилителя мощности 2, направленного ответвителя 3, передающей антенны 4, приемной антенны 5, малозумящего приемного усилителя 7, многоотводной линии задержки с электронным управлением 6, разветвителей 8 и 16, фазовращателя на 90° 10, балансовых диодных смесителей 10 и 13, интегрирующих фильтров нижних частот 11 и 14, аналоговых цифровых преобразователей 15 и 17, цифровых меж обзорных компенсаторов 18 и 19,

вычислителя среднеквадратического значения 20, устройства отображения информации 21, синхронизатора 5.

Микроволновый хаотический генератор формирует непрерывный шумовой сигнал на базе транзисторных автоколебательных систем со средней мощностью 1 мВт и равномерным спектром, лежащим в полосе частот от 1 до 4 ГГц. СШП хаотические колебания с выхода задающего генератора поступают на вход транзисторного многокаскадного усилителя с КУ равным 28 дБ [21].

Усилитель мощности имеет среднюю полосу частот 1500 МГц и полосу прозрачности 300 МГц. Полоса частот и полоса прозрачности задаются двумя одинаковыми полосно-пропускающими фильтрами в микрополосковом исполнении, один из которых включен на входе первого, а другой на входе последнего усилительных каскадов. Полоса частот зондирующего шумового сигнала выбрана в дециметровом диапазоне 1-2 ГГц с учетом относительно слабого ослабления таких волн в средах распространения и в процессе проникновения сквозь оптически непрозрачные препятствия.

После усиления до необходимого уровня 18 дБ шумовой сигнал с полосой частот 300 МГц разделится на две одинаковые части с помощью направленного микрополоскового отверстия.

15 дБ шумового сигнала поступает в передатчик радара и излучается в окружающее пространство с помощью конической передающей антенны с круговой поляризацией и коэффициентом усиления 17 дБ.

Опорный шумовой сигнал мощностью 3 дБ с другого выхода, направленного ответвителя поступает на вход приемника с двумя квадратурными каналами корреляционной обработки каждый из которых содержит многоотводную с электронным управлением линию задержки на восемь секций с постоянными задержками сигнала в диапазоне частот от 1 до 2 ГГц [21].

Каждая из микроволновых секций задержки выполнена из отрезка коаксиального кабеля заданной длины и которая обеспечивает необходимое

ослабление для того, чтобы сделать равными средние мощности задержанных сигналов во всех секциях.

Микрополосковая схема, содержащая направленные разветвители и балансовые сумматоры, осуществляет переключение секций в многоотводной линии задержки.

Три группы электронных ключей, построенные на быстродействующих *p-i-n* диодах управляют разветвителями и сумматорами.

Цифровая схема производит Сигнал в виде цифровой двоичной кодовой последовательности, формируемой синхронизатором, осуществляет управление быстродействующей схемой, которая формирует электрические *TTL*-импульсы для переключения *p-i-n* диодов [21].

Интерфейсная плата цифровой обработки сигналов, находящиеся в ПК служит блоком синхронизации.

На вход приемной антенны (с такими же параметрами, как и у передающей антенны) поступают непрерывные шумовые отражения от объектов. Линейный усилитель с коэффициентом усиления не менее 30 дБ включен на выходе приемной антенны приемо-передающего модуля.

Усиленный сигнал с помощью микрополоскового разветвителя разделяется на два канала квадратурных сигнала в полосе частот 30 МГц.

Балансные диодные смесители в квадратурных каналах корреляционной обработки осуществляют корреляционное перемножение между опорными шумовыми сигналами, задержанными в многоотводной линии задержки, и принятыми зондирующими импульсами.

С выхода многоотводной линии задержки (опорный шумовой сигнал на уровне 3 дБ) также разделяется на два канала квадратурной обработки, в одном из которых производится фазовый сдвиг на 90 градусов для всех спектральных составляющих опорного сигнала, находящихся в полосе частот 300 МГц [21].

Корреляционный сигнал (произведение между опорным сигналом и шумовыми отражениями) выделяется в виде сигнала разностной частоты на выходе диодных балансовых смесителей в каналах корреляционной обработки.

Из всего многообразия сигналов, принятых радаром только зондирующие сигналы, отраженные от объекта в подходящем строге дальности, будут коррелировать после перемножения с опорным сигналом, задержанным на требуемое время в многоотводной линии задержки.

С помощью двухкаскадных пассивных *RC*-фильтров (с граничной частотой порядка 1 кГц) осуществляется интегрирование широкополосных шумовых сигналов с выхода каждого квадратурного балансового смесителя.

Дальнейшее усреднение сигналов выполняется с помощью активных низкочастотных фильтров с полосой пропускания порядка 1 кГц. Обработанные аналоговые сигналы в квадратурных каналах поступают на входы аналоговых цифровых преобразователей. Окончательная обработка (интегрирование усредненных сигналов, а также управление цифровой схемой переключения задержек) производится в ПК интерфейсной платой цифровой обработки сигналов [21].

Сверхширокополосные шумовые радары позволяют достоверно (с высокой точностью) измерять дальность и скорость обнаруживаемых объектов. Они помехоустойчивы, скрытны, плохо обнаружимы. Еще одно преимущество – шумовые радары электромагнитно совместимы с другими традиционно узкополосными радиотехническими системами.

3.4 СШП-радиолокация человека

Для обнаружения людей, находящихся за оптически непрозрачной преградой целесообразно использовать радары малой ($\sim 1 \div 30$ м) дальности с зондирующим *UWB*-сигналом.

Примером такого сигналом может служить, сигнал с $f_{min} = 0.1$ ГГц, $f_{max} = 1.9$ ГГц. При этом $\mu = 1.8$, $\Delta f = 1.8$ ГГц, $f_0 = 1$ ГГц, $\tau_{И} = (\Delta f)^{-1} \approx 0.5$ нс. Разрешающая способность по дальности такого радара $\Delta R = c\tau_{И}/2 = c/(2\Delta f) \approx 8$ см. Радиосигналы, отраженные от человека, приобретают биометрическую модуляцию. Ее причиной служат квазипериодические процессы в живом объекте (сокращение сердца, сосудов, легких т. д.). Эти процессы имеют характерные частоты $F \approx 0.2 \div 3$ Гц. Им соответствует следующая амплитуда доплеровского смещения частоты на частоте $f_0 = (f_{min} + f_{max})/2$:

$$f_{d0} = 8\pi^2 f_0 \frac{F^2 x_0}{c}, \quad (3.1)$$

где x_0 – амплитуда колебаний органа человека.

Главными достоинствами применения зондирующих СШП-сигналов являются возможность измерения дальности до биообъекта. а также возможность выбора цели на фоне местных предметов.

К недостаткам можно отнести, наличие так называемых «пораженных» дальностей, вызываемых формой зависимости корреляционного интеграла от относительного запаздывания опорного и принимаемого сигналов.

Поиск живых людей под завалами строительных конструкций с помощью СШП-радаров основывается на модуляции радиосигнала, которую осуществляют колебания грудной клетки человека при дыхании. Обнаружить движение грудной клетки на низких частотах радиодиапазона, а, если быть точнее, практически невозможно. Оптимальный рабочий диапазон – от 1 до 10 ГГц (3–30 см), однако дальность действия биолокатора в этом диапазоне составляет порядка 10 м за счет затухания электромагнитных волн в строительных конструкциях.

3.5 СШП-радар подповерхностного зондирования с непрерывным излучением

В работе [22] показан и исследован СШП-радар для обнаружения и дистанционной диагностики людей, находящихся за оптически непрозрачной преградой. Структурная схема СШП-радара показана на рисунке 3.3. Радар предназначен для нахождения людей, находящихся за непрозрачными преградами или завалами.

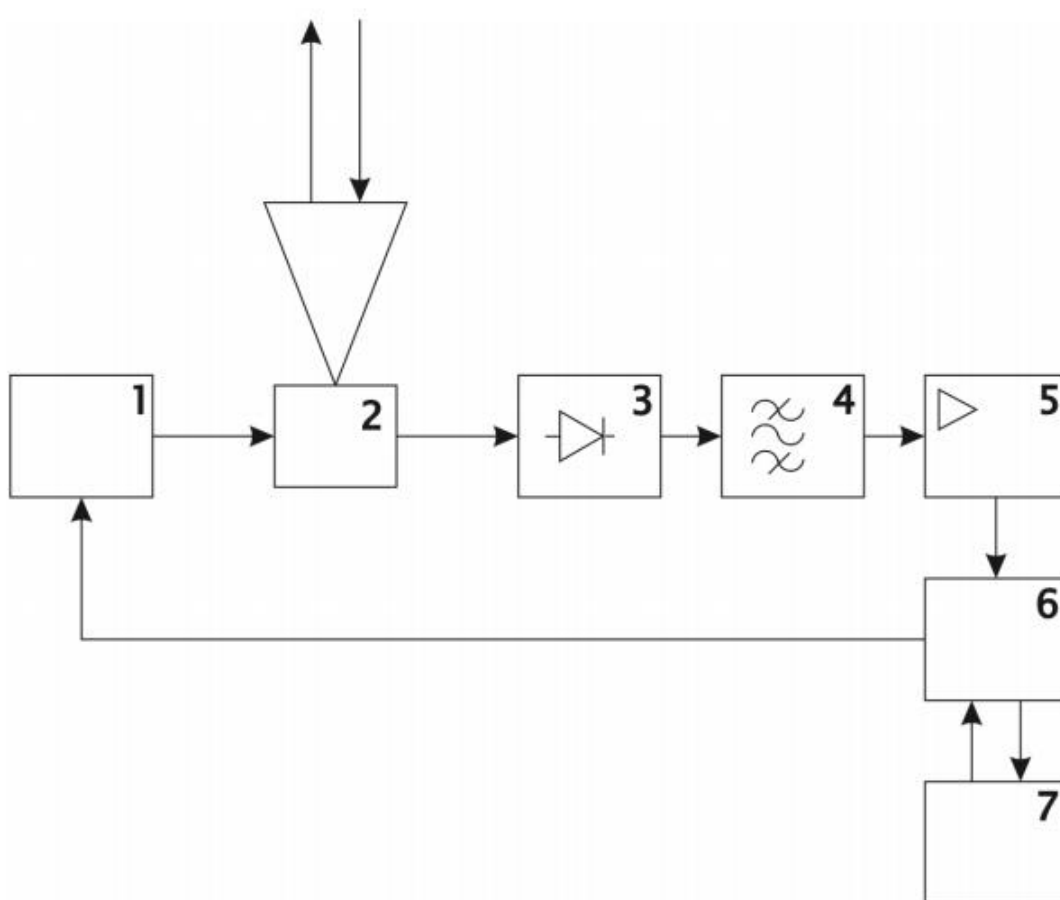


Рисунок 3.3 – Структурная схема СШП-радара подповерхностного зондирования с непрерывным излучением

где 1 – передающее устройство;

2 – приемопередающая СВЧ рупорная антенна;

- 3 – детектор;
- 4 – полосовой фильтр;
- 5 – усилитель;
- 6 – интерфейсный блок (ИБ);
- 7 – ЭВМ.

В работе [22] используется датчик типа «Раскан» [23, 24]. Данный датчик работает по принципу радиоинтерферометра. «Раскан» обладает следующими параметрами: рабочая частота 1,6 ГГц, коэффициент усиления 40 дБ, полоса регистрируемых сигналов 0,03 – 3 Гц, динамический диапазон принимаемых сигналов 60 дБ, частота снятия отсчётов 20 Гц.

СВЧ рупорная антенна имеет габариты: диаметр 120 мм, высота 200 мм.

Радар работает следующим образом. Электронно-вычислительная машина задает на выходе цифро-аналогового преобразователя величину напряжения.

СВЧ-антенна принимает сигнал далее детектирует его. После прохождения через полосовой фильтр сигнал попадает в усилитель. Усилитель производит усиление. Сигнал прошедший усиление поступает на ИБ. ИБ состоит из АЦП и ЦАП. Полученный результат отображается на экране ЭВМ.

Для обработка и ввода сигнала используется датчик типа «Раскан».

Электропитание ИБ производится от сети постоянного тока 12 В, что позволяет применять прибор в полевых условиях.

Блок позволяет оцифровывать низкочастотные сигналы по четырем каналом одновременно с максимальной частотой 25 кГц. Для управления, в блоке предусмотрено два канала цифро аналогово преобразователя со временем установления 70 микросекунд и 6 линий цифрового ввода/вывода. Для удобства управления и диагностики предусмотрен вывод на встроенный датчик индикатор.

В работе [22] проведен эксперимент на рисунке 3.4.

Исходные данные для эксперимента: толщина стены $W = 10$ см, живой объект находится на расстоянии 1 м от стены. СВЧ рупорная антенна закреплена непосредственно на стене.

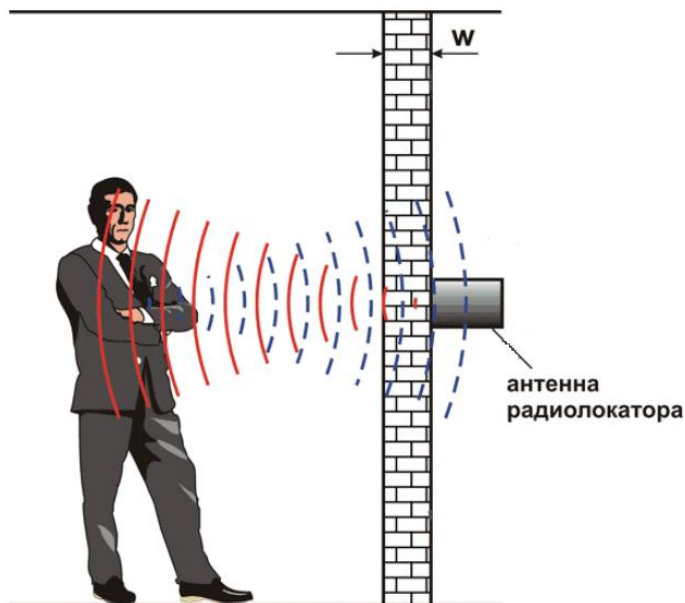


Рисунок 3.4 – Наглядное представление эксперимента

После проведения эксперимента были получены: осциллограмма сердцебиения и дыхания неподвижного человека на рисунке 3.5, осциллограмму сердцебиения человека, который задержал дыхание на одну минуту рисунок 3.6 и осциллограмму сердцебиения говорящего человека рисунок 3.7.

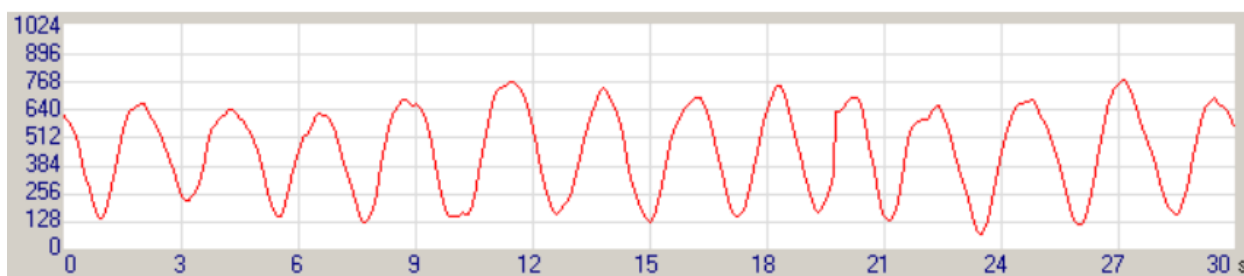


Рисунок 3.5 – Осциллограмма сигналов, отраженных от спокойно дышащего человека



Рисунок 3.6 – Осциллограмма сигналов человека при задержке дыхания



Рисунок 3.7 – Осциллограмма сигналов говорящего человека

Для сравнения на рисунке 3.8 продемонстрирована осциллограмма при отсутствии людей в зоне работы СШП-радар.



Рисунок 3.8 – Осциллограмма при отсутствии людей в зоне работы радара

Частота пульса человека составляла около 65 ударов в минуту. Как видно из представленных осциллограмм, сокращения сердца наблюдается в виде ВЧ-модуляции, поскольку и амплитуда колебаний, и объём легких значительно превосходят аналогичные параметры сердца, на фоне сокращений грудной клетки.

3.6 Структурная схема СШП-биорадара для обнаружения людей, находящихся за преградой

На рисунке 3.9 изображена структурная схема СШП-биорадара.

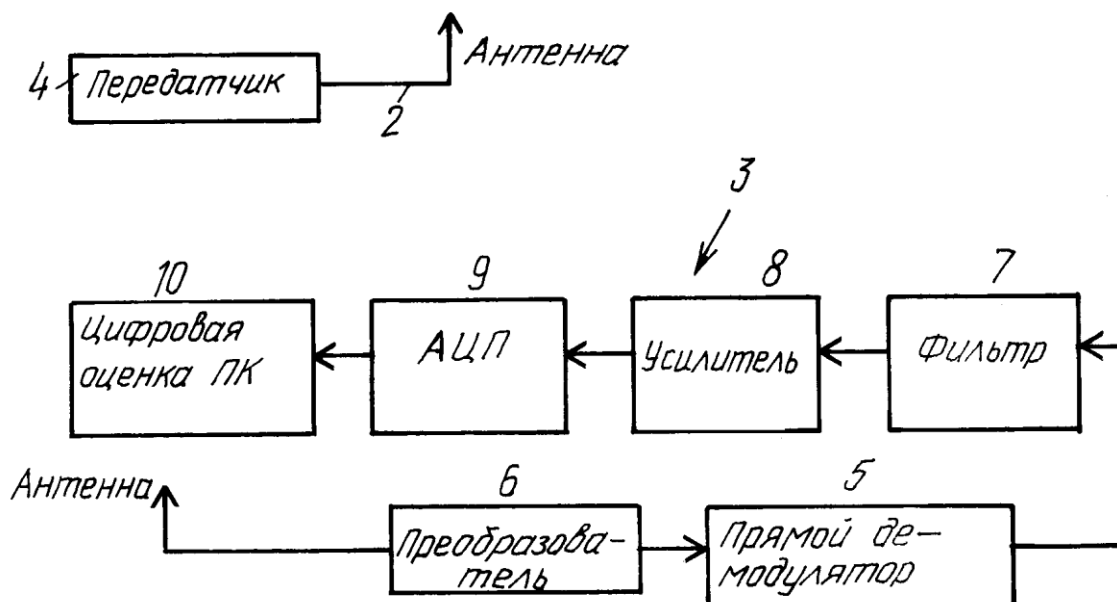


Рисунок 3.9 – Структурная схема СШП-биорадара

где 1 – передающее устройство, включающее в себя передатчик и передающую антенну;

2 – передающая антенна;

3 – приемное устройство;

4 – передатчик;

5 – демодулятор;

6 – преобразователь сигнала;

7 – фильтр ВЧ;

8 – усилитель мощности;

9 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП);

10 – Вычислительное устройство (ПК).

4 Моделирование СВЧ-антенн с помощью программы HFSS

4.1 Результаты моделирования рупорной антенны с помощью программы HFSS

Версия программы HFSS (2013 год) – это мощнейший пакет для расчета электромагнитного поля СВЧ структур методами конечных элементов и интегральных уравнений.

К достоинствам программы следует отнести:

- 1) HFSS совместима [25] с другими программами, утилитами (*Microwave Office, Serenade Ansoft* или *ADS*), что значительно расширяет возможности профессионального проектирования СВЧ-устройств.
- 2) Программа имеет простой и понятный интерфейс.
- 3) Наглядное изображение получаемых результатов, например, 3D-диаграмма направленности рупорной антенны.

Утилита – это вспомогательная программа в составе общего программного обеспечения для выполнения специализированных типовых задач. Такой вспомогательной программой может являться *HFSS Antenna Design Kit*.

В процессе проектирования рупорной антенны на первоначальном этапе создана 3D-модель рупорной антенны рисунок 4.1, а также заданы параметры и размеры антенны рисунок 4.2. Материал, который был выбран для окружения нашего антенного элемента – воздух и радиация.

Радиоактивное излучение необходимо для того что бы прибор для обнаружения людей за преградой мог работать в радиоактивной среде, так как поиск людей может производиться в местах техногенных катастроф.

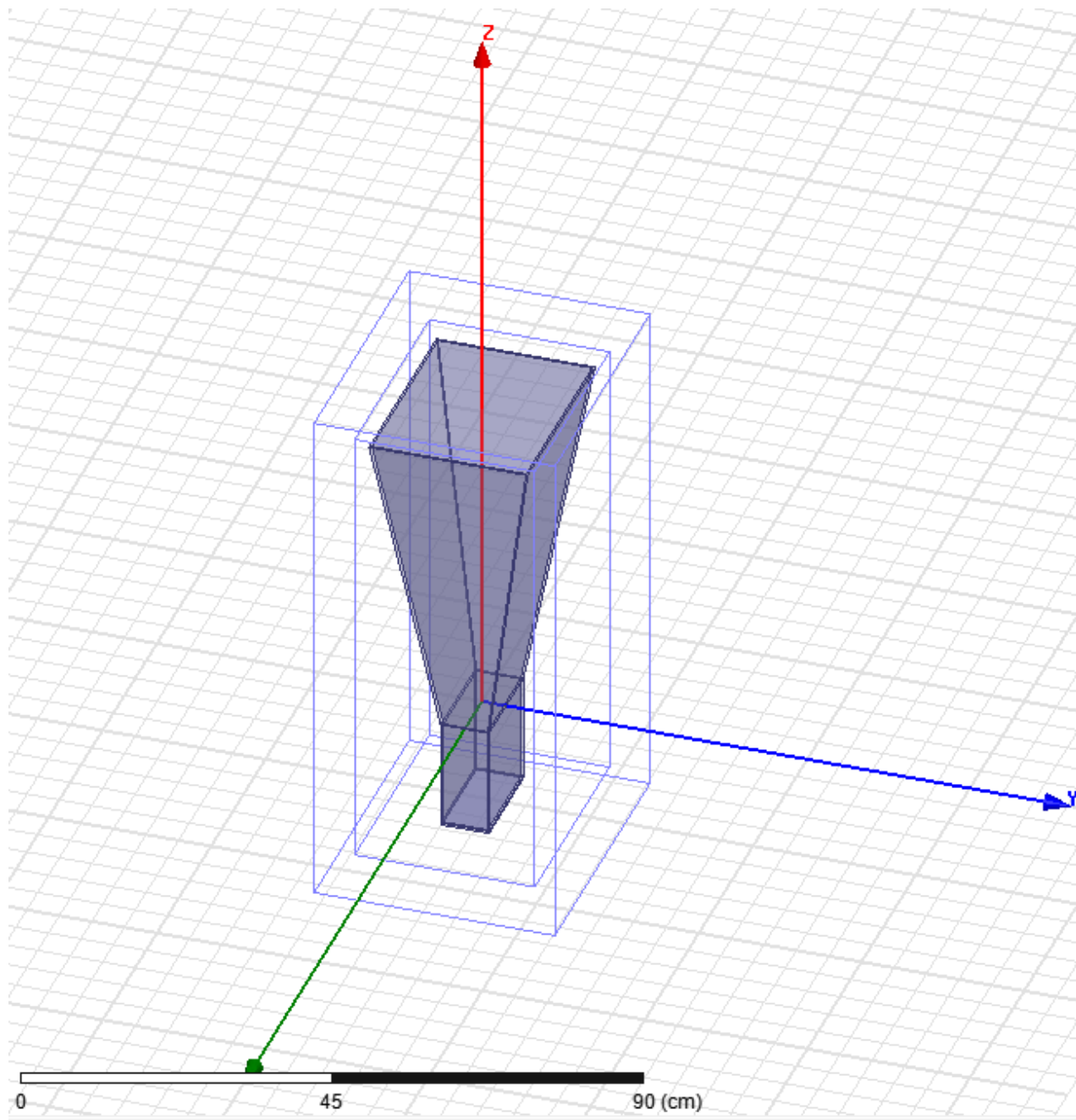


Рисунок 4.1 – 3D-модель рупорной антенны

При создании 3D-модели антенны была использован утилита *Antenna Design Kit*.

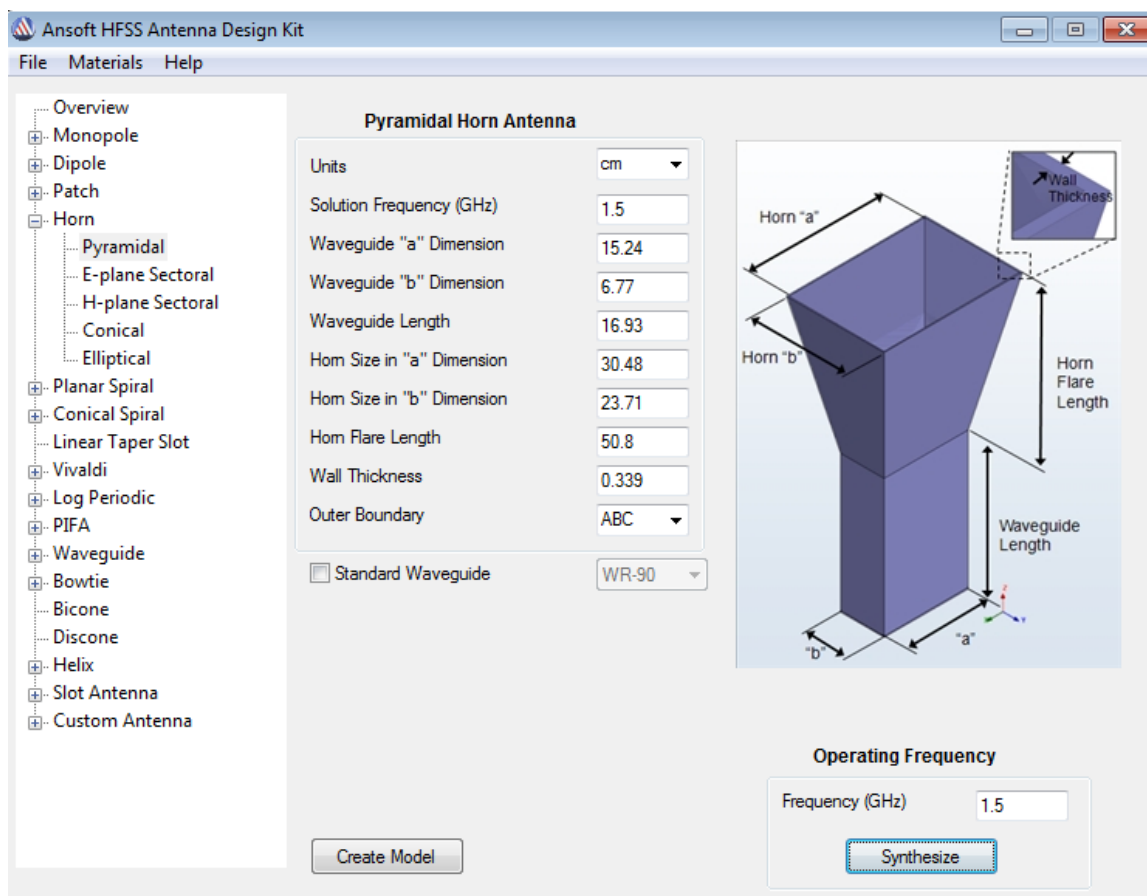


Рисунок 4.2 – Задание параметров рупорной антенны

Задаем параметры для расчета рупорной антенны:

- 1) диапазон рабочих частот: 1 ГГц – 2 ГГц;
- 2) входное сопротивление антенны: 50 Ом;
- 3) усиление антенны: 10 дБ.

Расшифровка значений:

- 1) *units* – единицы измерения;
- 2) *waveguide «a» dimension* – длина волновода;
- 3) *waveguide «b» dimension* – ширина волновода;
- 4) *waveguide length* – высота волновода;
- 5) *horn size in «a» dimension* – длина рупора;
- 6) *horn size in «b» dimension* – ширина рупора;
- 7) *horn flare length* – высота рупора;
- 8) *wall thickness* – толщина материала.

После создания модели была проведена проверка рупорной антенны на отсутствие ошибок. Проверка проходила по следующим параметрам: *design settings* – настройки дизайна, *3D-model*- правильность построения 3D-модели, *boundaries and excitations* – проверка граничных условий, *analysis setup* – проверка настроек, *mesh operations* – проверка сети, *optimistic* – оптимальность, *radiation* – излучение.

Правильность установки параметров иллюстрирует рисунок 4.3.

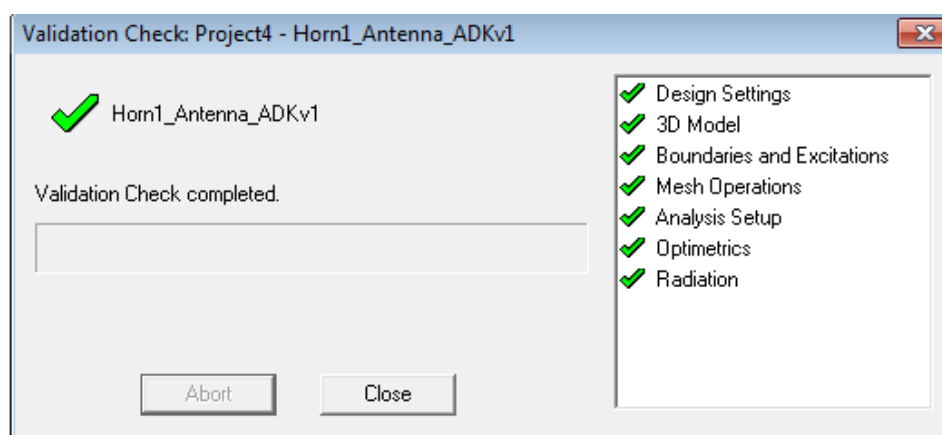


Рисунок 4.3- Проверка созданного проекта

Итак, ошибки моделирования отсутствуют.

В результате моделирования были получены:

- 1) 3D-диаграмма направленности на частоте 1,5 ГГц, изображенная, на рисунке 4.4;
- 2) 2D-диаграмму направленности на частоте 1,5 ГГц, изображенную, на рисунке 4.5;
- 3) распределение электромагнитного поля внутри рупорной антенны показано на рисунке 4.6;
- 4) частотную характеристику демонстрирует рисунок 4.7;
- 5) график поляризации рупорной антенны показан на рисунке 4.8.

Каждая антенна имеет возможность фокусировать электромагнитный поток в определенном направлении, от есть передавать его в определенную

сторону. Чтобы охарактеризовать эти свойства или характеристики, и визуализировать их используются специальные схемы – ДН антенн. В этих диаграммах описываются напряженность или плотность потока ЭМП, а ширина лепестков диаграммы характеризует коэффициент направленного действия (КНД) или усиления (КУ). КНД характеризует способность антенны концентрировать излученную мощность в определенном направлении. Это определение ввел в 1929 году отечественный ученый Пистолькорсом А. А [26]

$$D_{max} = 4\pi / \int_0^\pi \int_0^{2\pi} F^2(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi, \quad (4.1)$$

где D – коэффициент направленного действия;

F – нормированная характеристика для диаграммы направленности.

Если ДН обладает осевой симметрией, то есть не зависит от азимутного угла, то

$$D_{max} = 2 / \int_0^\pi F^2(\theta) \sin \theta d\theta, \quad (4.2)$$

Программа *HFSS* строит диаграмму направленности по формуле:

$$F^E(\theta, \varphi) = \frac{E(\theta, \varphi)}{E_{max}}, \quad (4.3)$$

$$F^H(\theta, \varphi) = \frac{H(\theta, \varphi)}{H_{max}}. \quad (4.4)$$

где E_{max} или H_{max} – это соответственно, напряженность электрического или магнитного поля по направлению максимального излучения.

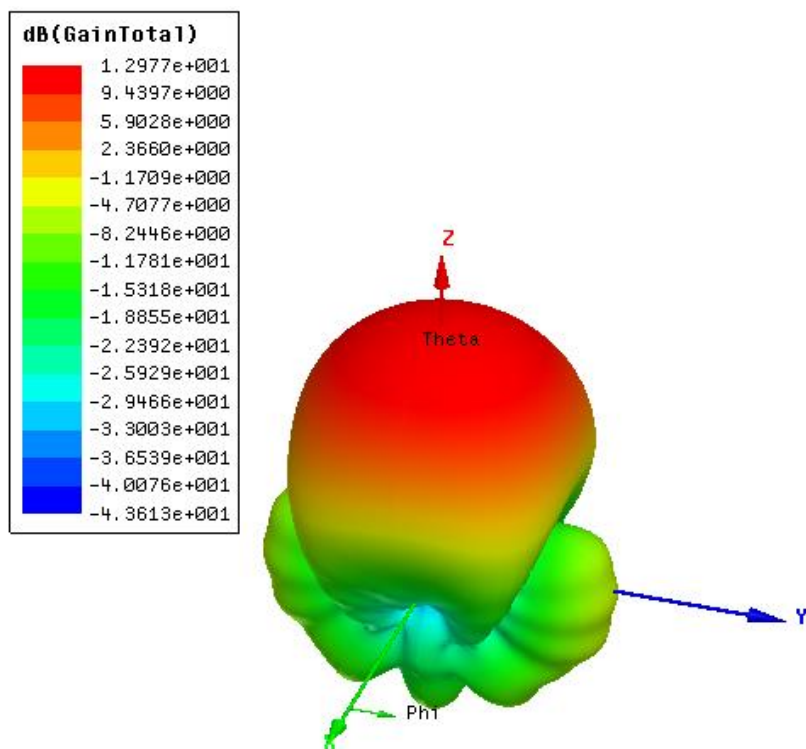


Рисунок 4.4 – 3D-диаграмма направленности рупорной антенны на частоте 1,5 ГГц

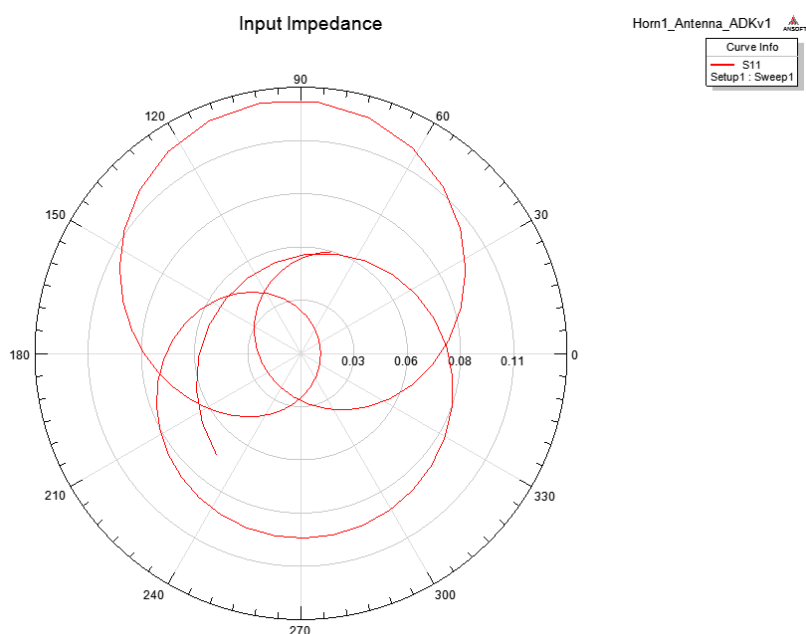


Рисунок 4.5 – 2D-диаграмма направленности рупорной антенны на частоте 1,5 ГГц

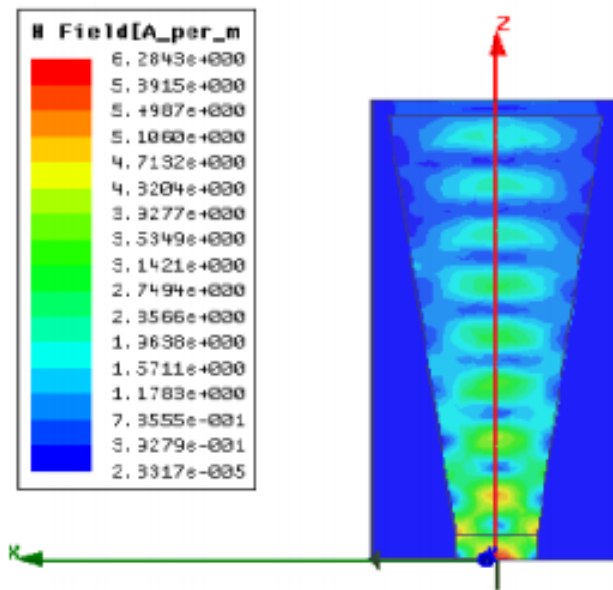


Рисунок 4.6 – Распределение электромагнитного поля внутри рупорной антенны на частоте 1,5 ГГц

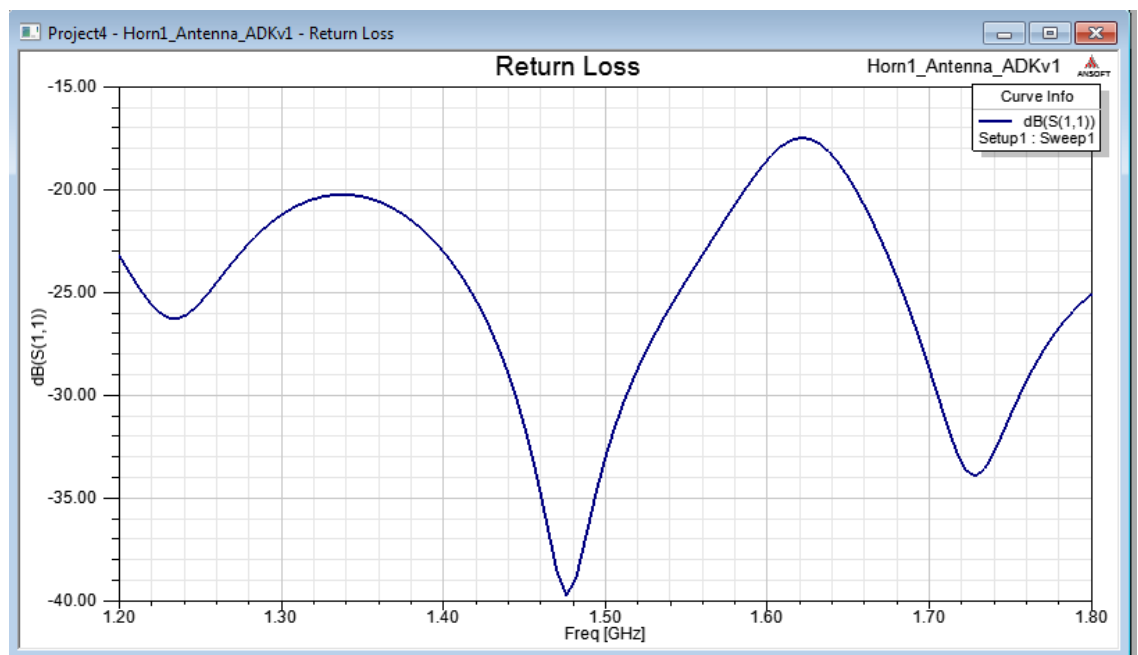


Рисунок 4.7 – Частотная характеристика рупорной антенны

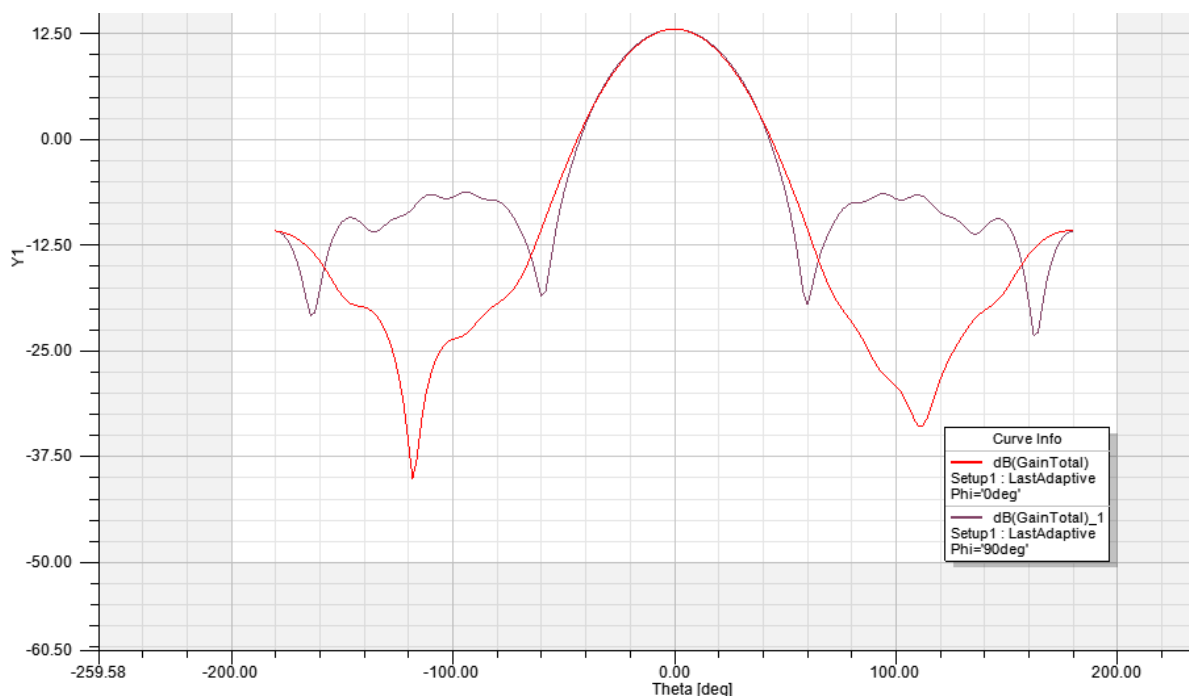


Рисунок 4.8 – График поляризации рупорной антенны

Проверка полученных результатов методом сравнения.

Проведем расчет нашей рупорной антенны с помощью калькулятора для расчета СВЧ-антенн [27].

На первоначальном этапе проверки вводим данные для расчета рисунок 4.9.

ВВЕСТИ ДАННЫЕ:

Частота: МГц Частота вручную ▾

Входное сопротивление антенны: Ом

Желаемое усиление антенны: dBi

Рисунок 4.9 – Данные для расчета СВЧ рупорной антенны

После ввода необходимых параметров калькулятор выдал нам результат расчетов, результаты показаны на рисунке 4.10.

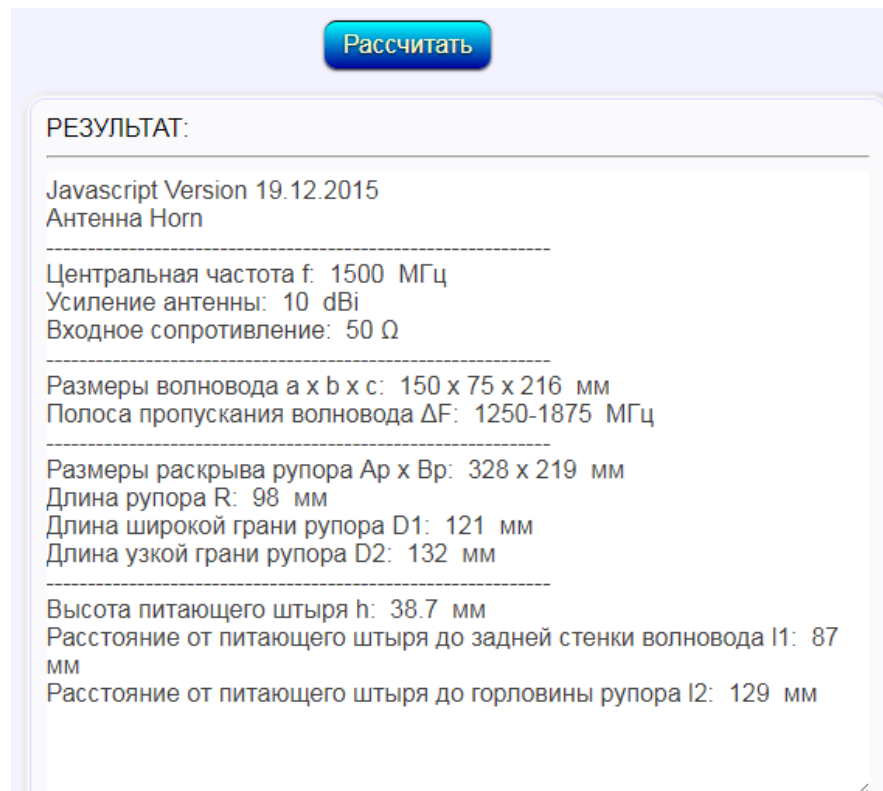


Рисунок 4.10 – Результаты расчета рупорной антенны с помощью калькулятора антенн

Калькулятор рассчитывает, так называемый, оптимальный рупор с соотношением сторон раскрыва 3:2.

На рисунках 4.11 и 4.12 показано схематичное изображение антенны для более простого считывания результатов расчета калькулятора.

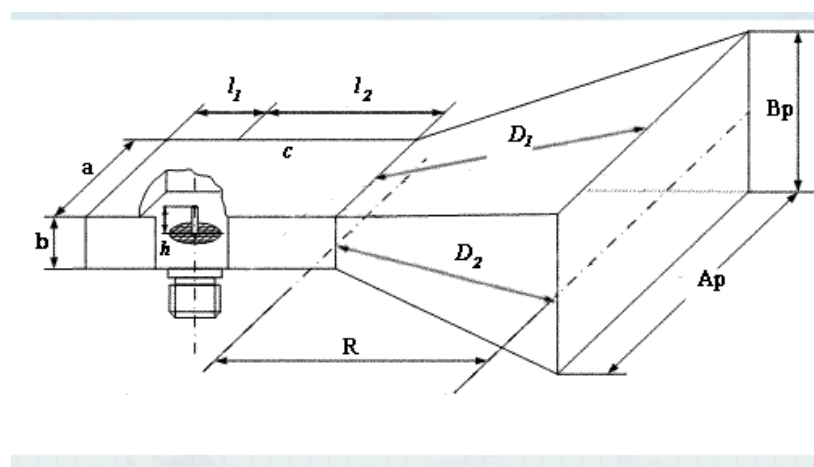


Рисунок 4.11 – Изображение рупорной антенны

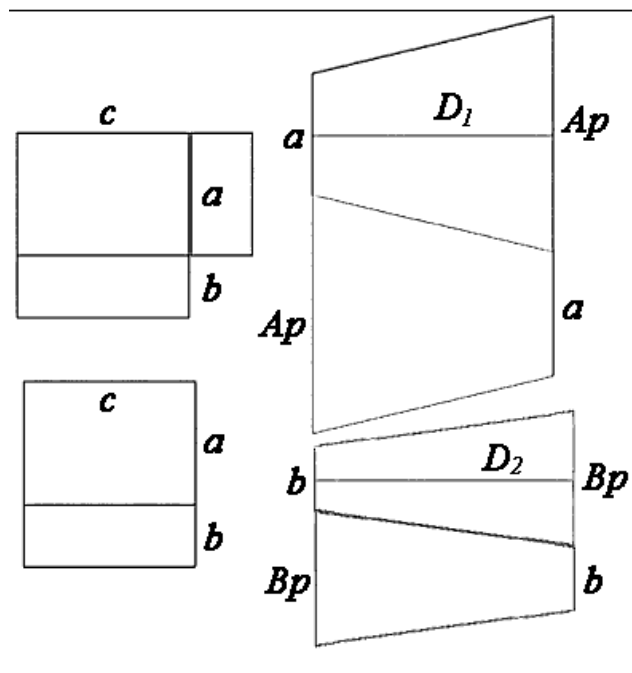


Рисунок 4.12 – Схематичное изображение раскрытия волновода и антенны

В таблице 4.1 показано наглядное сравнение характеристик, полученных с помощью программы *HFSS* и калькулятора.

Таблица 4.1 – Сравнение характеристик рупорной антенны

Результаты	Центральная частота, ГГц	Усиление антенны, дБ	Входное сопротивление, Ом	Размеры волновода, $a \times b \times c$, см	Размеры раскрытия рупора $A_p \times B_p$, см	Длина рупора, R , см
<i>HFSS</i>	1,5	10	50	$15 \times 6,77 \times 16,93$	$30,48 \times 23,71$	50
Калькулятор антенн	1,5	10	50	$15 \times 7,5 \times 21,6$	$32,8 \times 21,9$	9,8

Из таблицы видно, что практически все значения характеристик близки друг к другу. Для полной проверки правильности наших расчетов сравним полученные нами характеристики и графики с ЧХ, 3D- и 2D- диаграммами направленности, распределением электромагнитного поля из работы [28, с. 50-62] в которой произведён расчет СВЧ рупорной антенны. Таким образом, можно сделать вывод расчет рупорной антенны на частоте 1,5 ГГц выполнен верно.

4.2 Результаты моделирования щелевой антенны типа «Бабочка» с помощью программы HFSS

В процессе проектирования рупорной антенны на первом этапе создана 3D-модель щелевой антенны типа «Бабочка» показана на рисунке 4.13, а также заданы параметры и размеры антенны рисунок 4.14. Материал, который был выбран для окружения нашего антенного элемента – воздух и радиация. Антенна находится на диэлектрической подложке на выделена зеленым цветом рисунок 4.14.

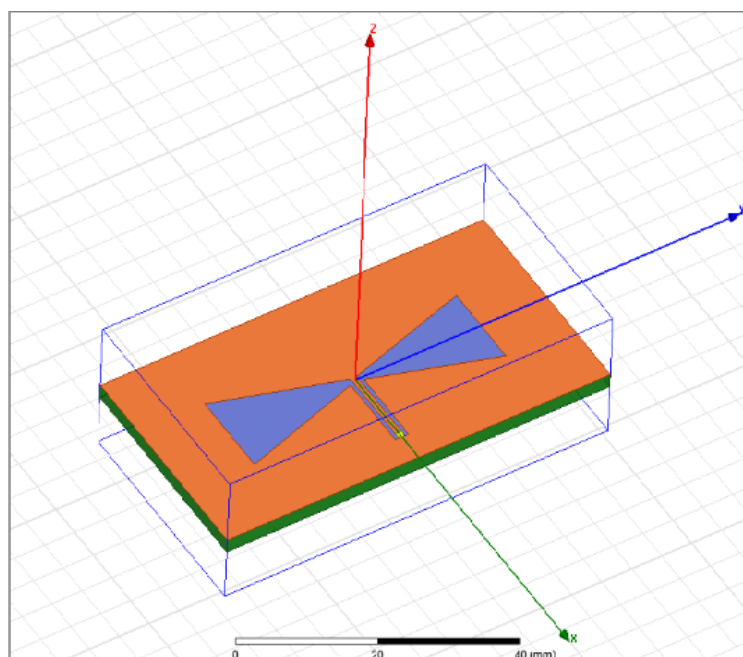


Рисунок 4.13 – 3D-модель щелевой антенны типа «Бабочка»

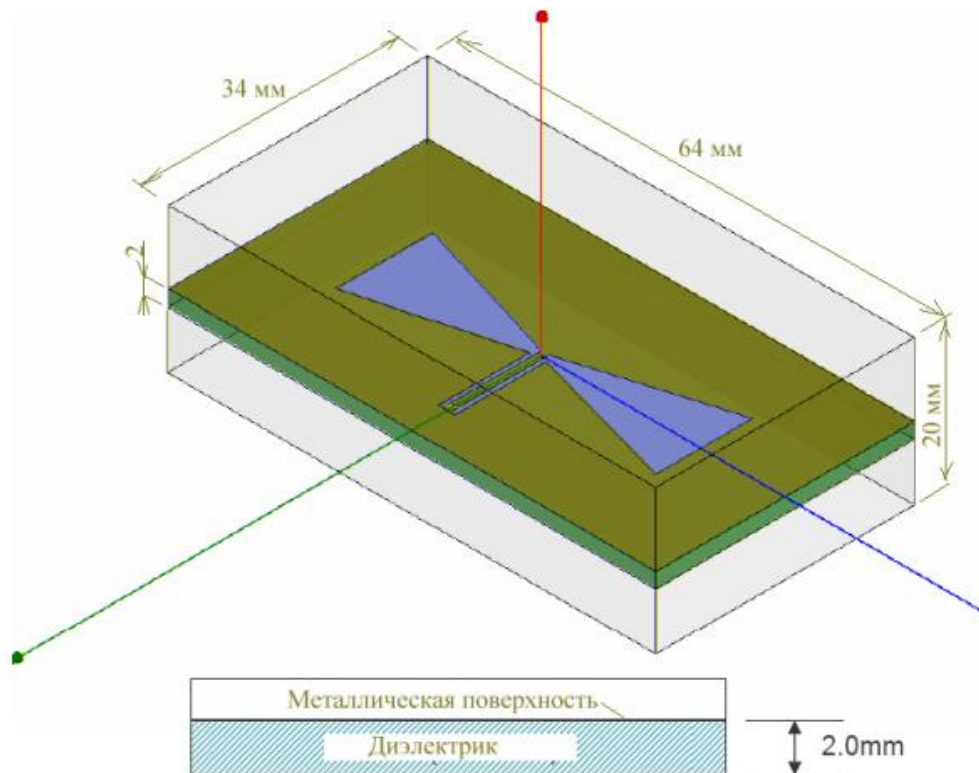


Рисунок 4.14 – Параметры щелевой антенны

Задаем параметры для расчета рупорной антенны:

- 1) диапазон рабочих частот: 1 ГГц – 10 ГГц;
- 2) входное сопротивление: 50 Ом;
- 3) длина антенны: 21 мм;
- 4) ширина антенны: 13,3 мм.

Расшифровка значений:

- 1) *units* – единицы измерения;
- 2) *outer width* – ширина антенны;
- 3) *arm length* – длина антенны.

После создания модели была проведена проверка щелевой антенны типа «Бабочка» на отсутствие ошибок. Правильность установки параметров иллюстрирует рисунок 4.15.

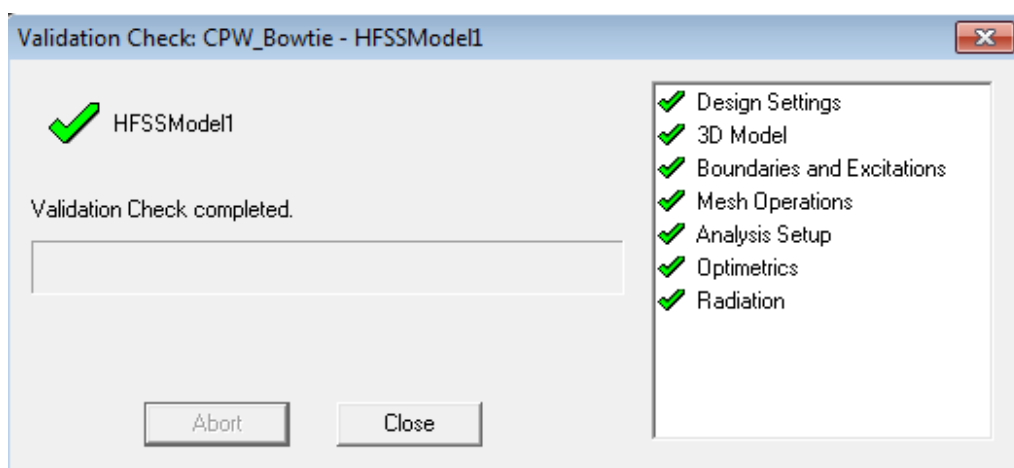


Рисунок 4.15 – Проверка созданного проекта

В результате моделирования были получены:

- 1) 3D-диаграмма направленности на частоте 10 ГГц, изображенная на рисунке 4.16;
- 2) 2D-диаграмму направленности на частоте 10 ГГц изображенную, на рисунке 4.17);
- 3) распределение электромагнитного поля на поверхности щелевой антенны показывает рисунок 4.18;
- 4) частотную характеристику щелевой антенны демонстрирует рисунок 4.19.

Программа *HFSS* выполнит расчет диаграммы направленности щелевой антенны по формуле [26]

$$F(\theta, \varphi) = \frac{\cos(kl \cos(\theta)) - \cos kl}{(1 - \cos kl) \sin \theta}, \quad (4.5)$$

где $\theta = \frac{\pi}{2}$, l – длина плеча, $k = \beta / \epsilon \mu$,

β – постоянная распространения;

ϵ – диэлектрическая проницаемость;

μ – магнитная проницаемость.

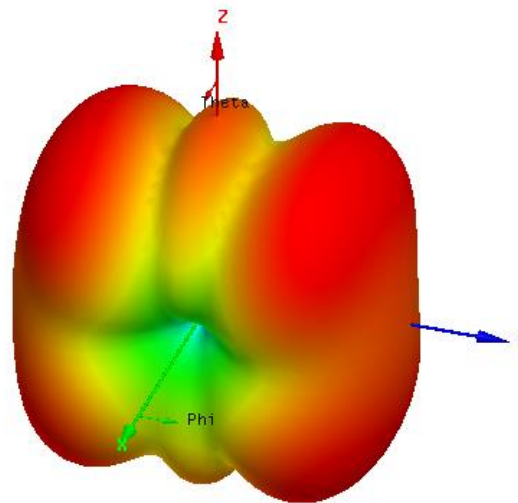
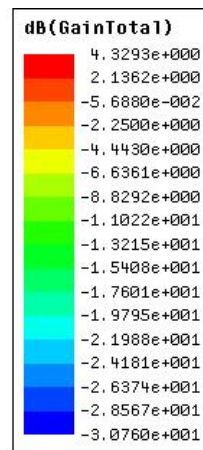


Рисунок 4.16 – 3D-диаграмма направленности щелевой антенны типа «Бабочка»

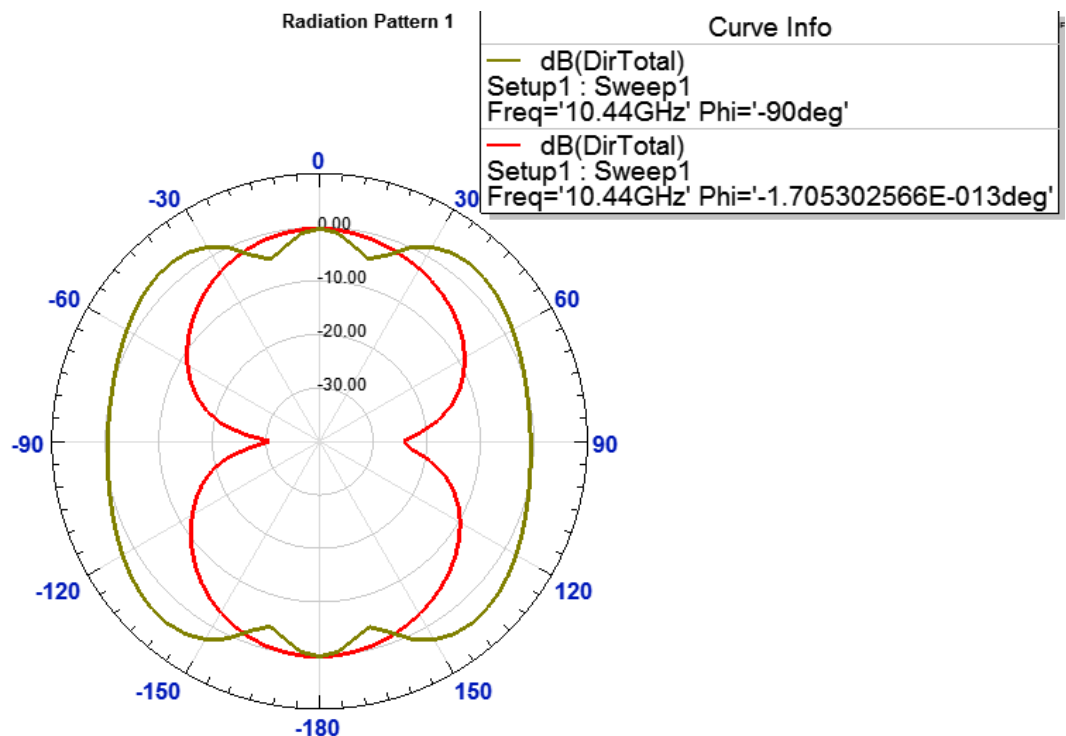


Рисунок 4.17 – Двумерная диаграмма направленности щелевой антенны типа «Бабочка»

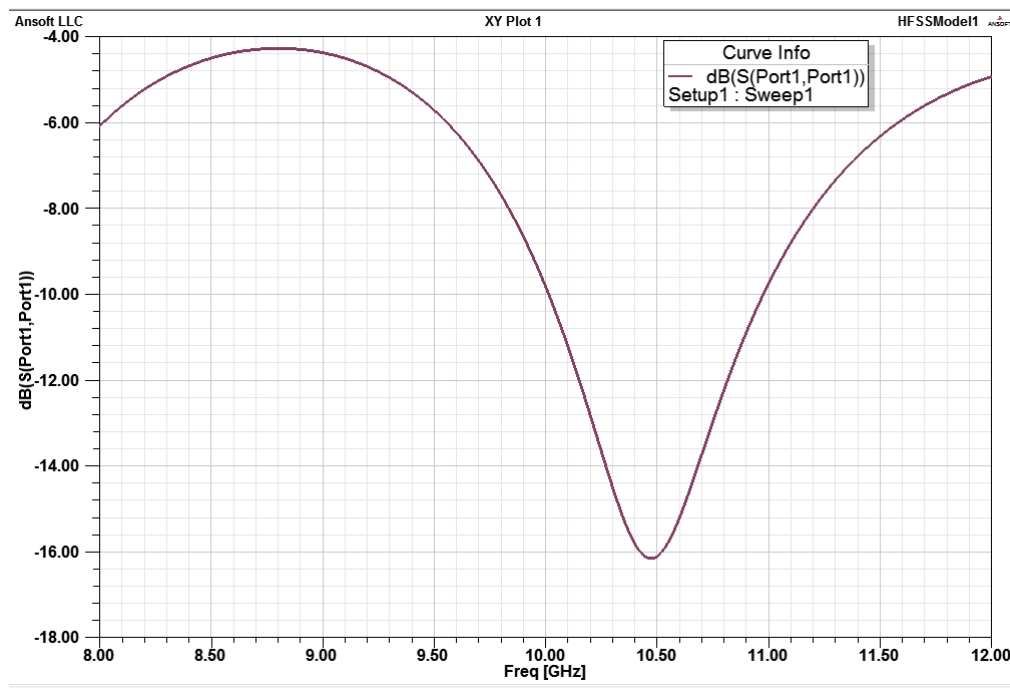


Рисунок 4.18 – Частотная характеристика антенны типа «Бабочка»

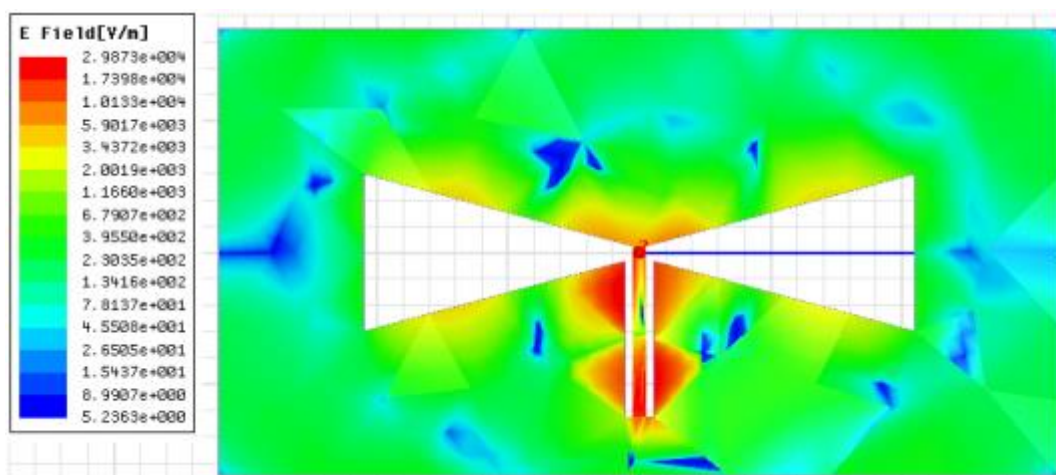


Рисунок 4.19 – Распределение поля на поверхности антенны «Бабочки»

Проверка полученных результатов методом сравнения.

Проведем расчет щелевой антенны типа «Бабочка» с помощью калькулятора для расчета СВЧ антенн [27].

На первоначальном этапе проверки вводим данные для расчета рисунок 4.20.

По условию калькулятора входное сопротивление примерно равно 50 Ом.

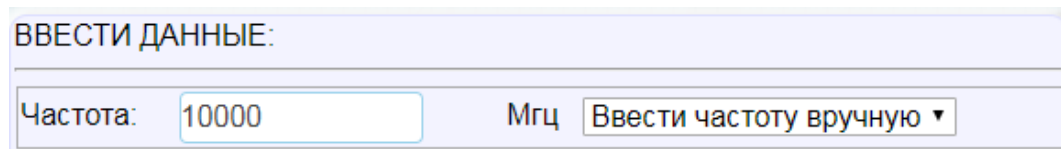


Рисунок 4.20- Ввод данных для расчета

После ввода необходимых параметров калькулятор выдал нам результат расчетов показан на рисунке 4.21.

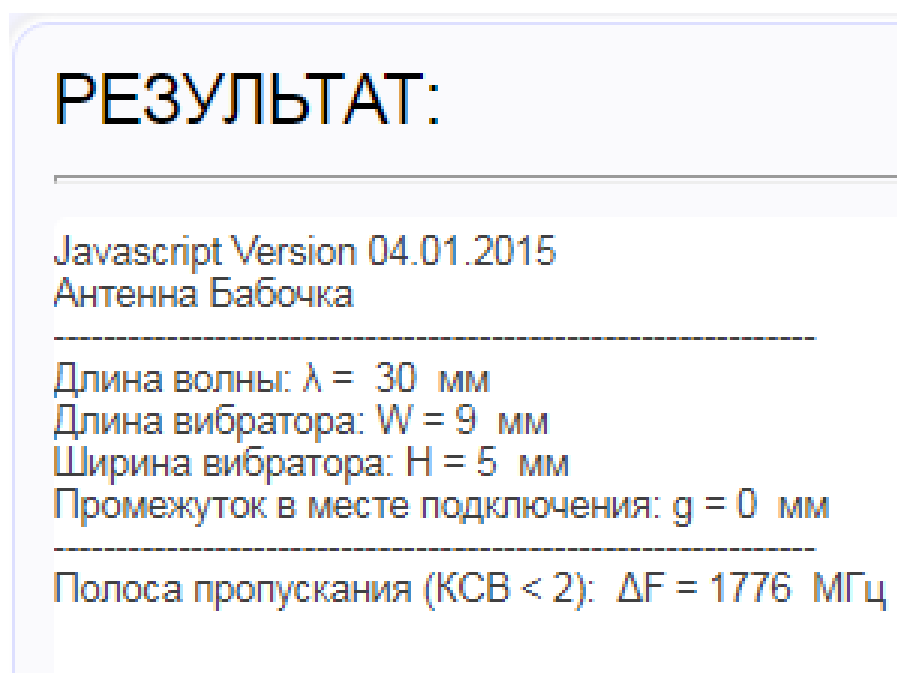


Рисунок 4.21 – Результаты расчётов калькулятором щелевой антенны типа «Бабочка»

После сравнения результатов, полученных с помощью программы *HFSS* с результатами калькулятора СВЧ-антенн мы можем, сделать вывод расчет щелевой антенны типа «Бабочка» на частоте 10 ГГц выполнен верно.

Подводя итоги анализа и моделирования двух СВЧ-антенн, следует отметить что для использования в радаре для обнаружения людей, находящихся за преградой больше нам подходит щелевая антенна. Так как устройство должно быть компактным то главным критерием стали масса габаритные показатели.

Щелевая антенна проста и прочна, имеет небольшую стоимость и не плохие электромагнитные характеристики. Имеет широкий диапазон рабочих частот 1 ГГц до 10 ГГц.

Рупорная СВЧ-антенна с свою очередь громоздкая, но превосходит щелевую антенну по электромагнитным характеристикам.

					Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	БР-02069964-11.03.02-10-18

5 Моделирование СВЧ-усилителя мощности с помощью программы ADS

Моделирование производится в профессиональной программе ADS компании Keysight. Данная программа была создана для моделирования СВЧ-устройств. В программе ADS широкий выбор высокоэффективных средств проектирования компании Keysight, разработчики могут промоделировать электрические и физические характеристики наиболее перспективных проектов.

При проектировании СВЧ-усилителя был произведен автоматический подбор элементов по номинальным значениям. После подбора элементов были получены результаты: $L_1 = 11,99 \text{ nH}$, $L_2 = 11,97 \text{ nH}$, $L_3 = 1,49 \text{ nH}$, $C_1 = 15 \text{ pF}$, $C_2 = 8,66 \text{ pF}$, $C_3 = 93,4 \text{ pF}$.

Задаем параметры для расчета СВЧ-усилителя на полевом транзисторе: диапазон рабочих частот: 1 ГГц – 5 ГГц, входное сопротивление: 50 Ом.

После расчета программа выдала результат коэффициента усиления 10 ДБ. Модель построенного усилителя мощности представлена на рисунке 5.1.

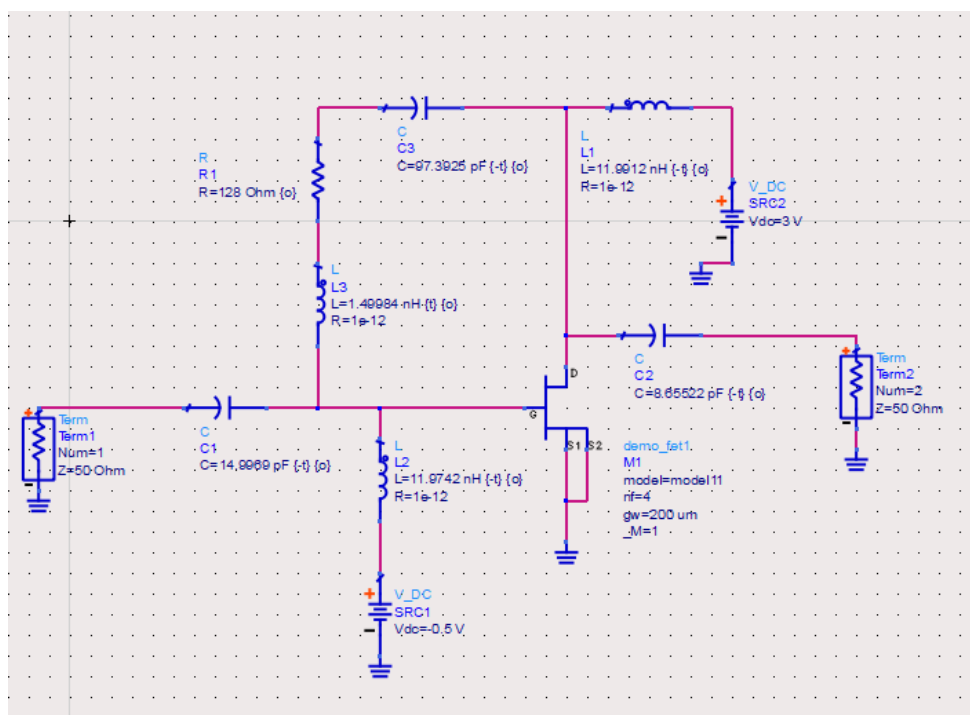


Рисунок 5.1 – Модель СВЧ-усилителя

После этапа проектирования были получены характеристики:

- 1) зависимость шума от частоты показана на рисунке 5.2;
- 2) входная характеристика показана на рисунке 5.3;
- 3) выходная характеристика показана на рисунке 5.4;
- 4) амплитудно-частотная характеристика усилителя показана на рисунке 5.5;
- 5) фаза-частотная характеристика усилителя показана на рисунке 5.6;
- 6) стабильность всех элементов схемы усилителя при частоте 1 ГГц продемонстрировано на рисунке 5.7;
- 7) стабильность всех элементов схемы усилителя при частоте 5 ГГц (продемонстрировано на рисунке 5.8;
- 8) коэффициент устойчивости при частоте 1 ГГц показан на рисунке 5.9;
- 9) коэффициент устойчивости при частоте 5 ГГц показан на рисунке 5.10.

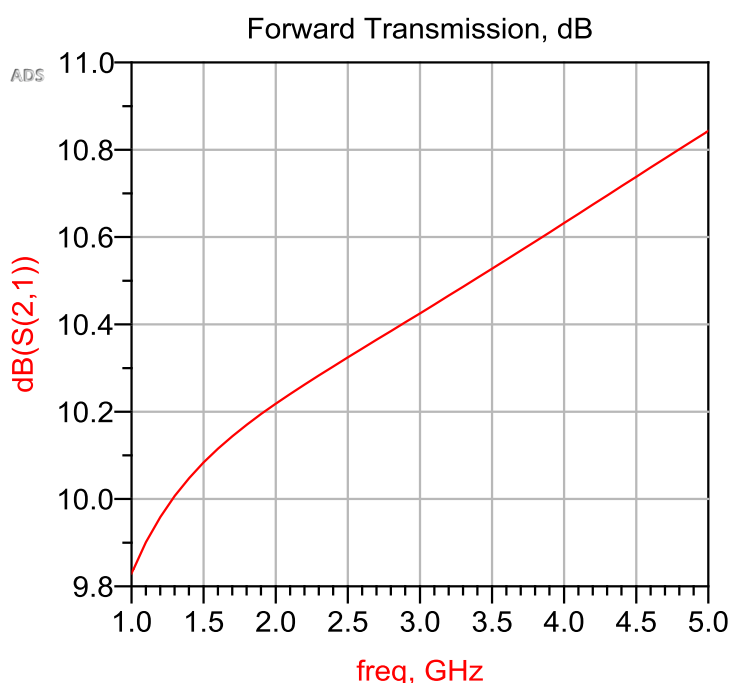


Рисунок 5.2 – Зависимость шума от частоты СВЧ-усилителя

Из рисунка 5.2 видно, что оптимальный по шуму коэффициент усиления достигается на частотах от 1 до 1,5 ГГц.

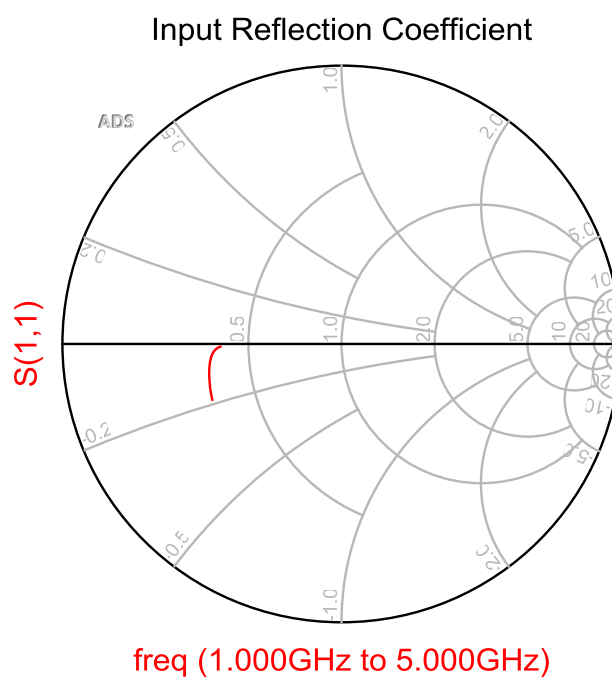


Рисунок 5.3 – Входная характеристика СВЧ-усилителя

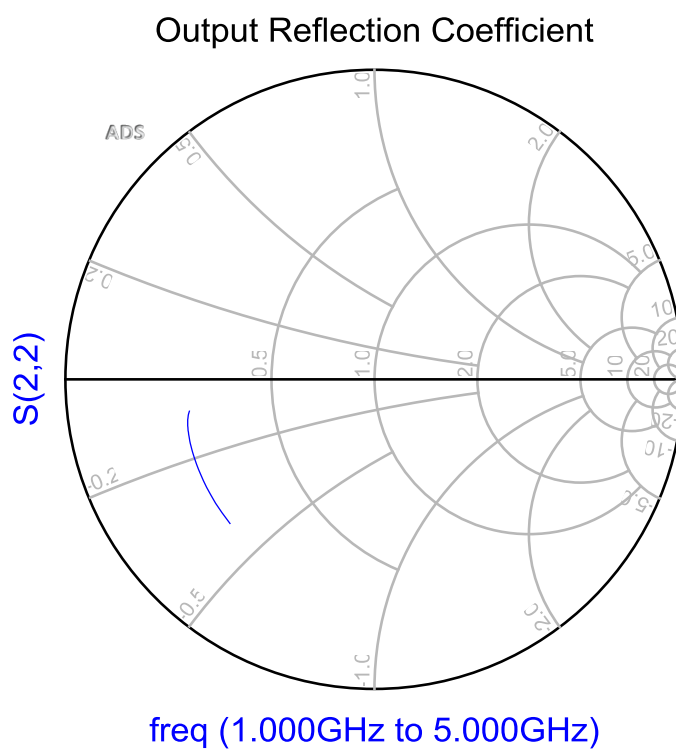


Рисунок 5.4 – Выходная характеристика СВЧ-усилителя

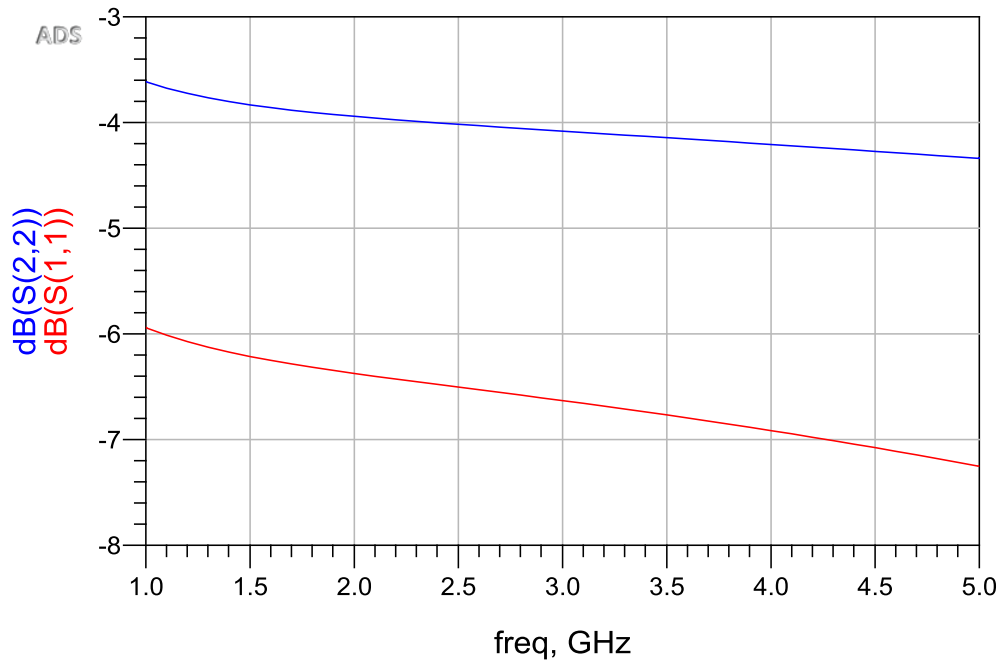


Рисунок 5.5 – АЧХ СВЧ-усилителя

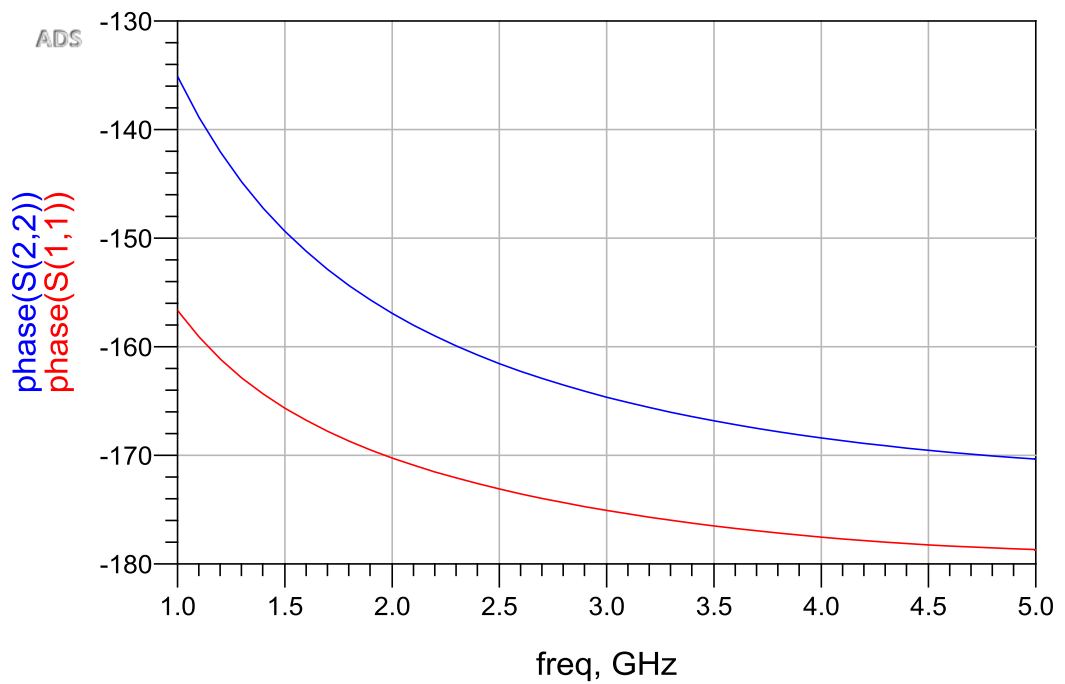


Рисунок 5.6 – ФЧХ СВЧ-усилителя

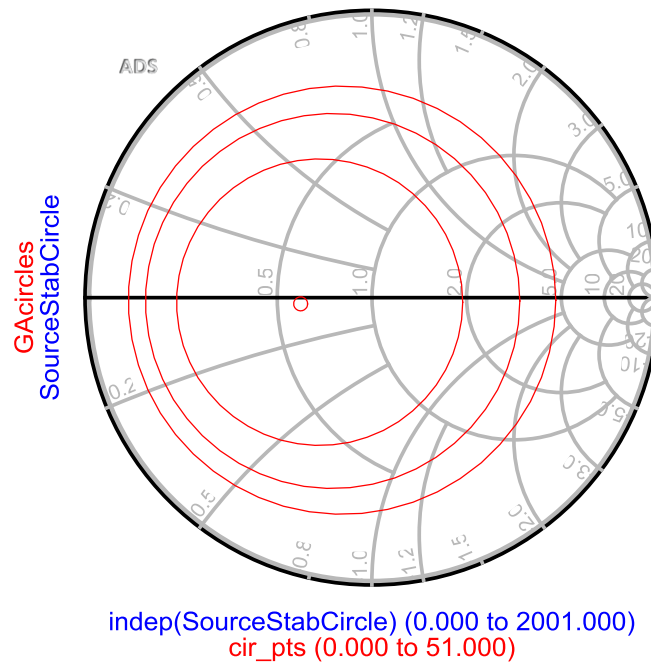


Рисунок 5.7 – Стабильность всех элементов схемы усилителя при частоте 1 ГГц

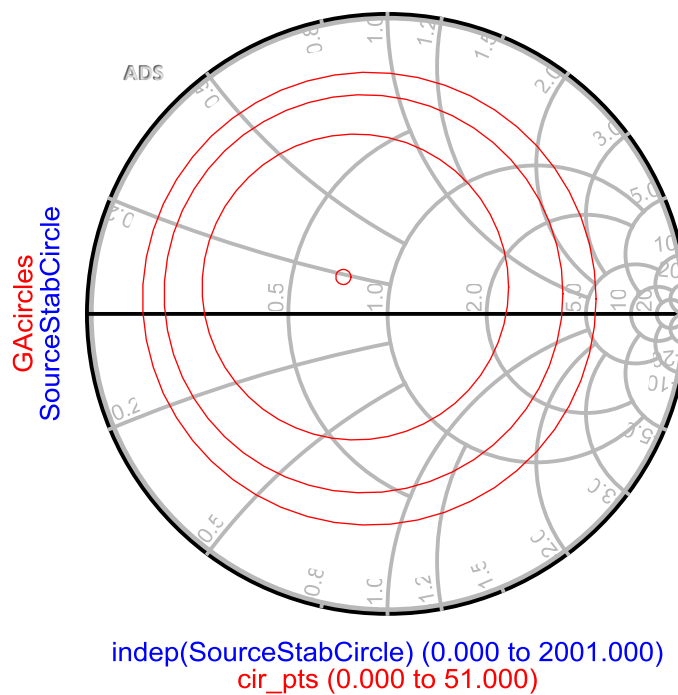


Рисунок 5.8 – Стабильность всех элементов схемы усилителя при частоте 5 ГГц

Коэффициент устойчивости усилителя рассчитывается по формуле

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{12}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{12}|}, \quad (5.1)$$

где $\Delta = S_{11}S_{12} - S_{12}S_{21}$;

S_{11} – коэффициенты отражения по 1-у входу многополюсника к 1 выходу;

S_{12} – коэффициенты отражения по 1-у входу многополюсника к 2 выходу;

S_{21} – коэффициенты отражения по 2-у входу многополюсника к 1 выходу.

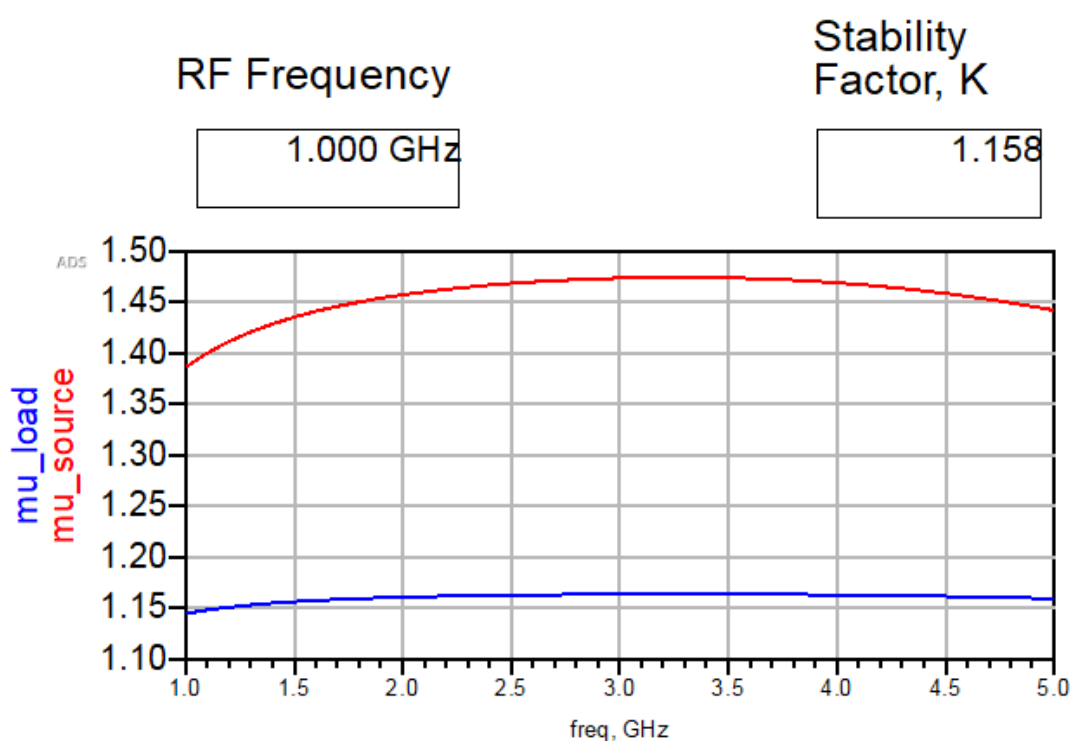


Рисунок 5.9 – Коэффициент устойчивости при частоте 1 ГГц

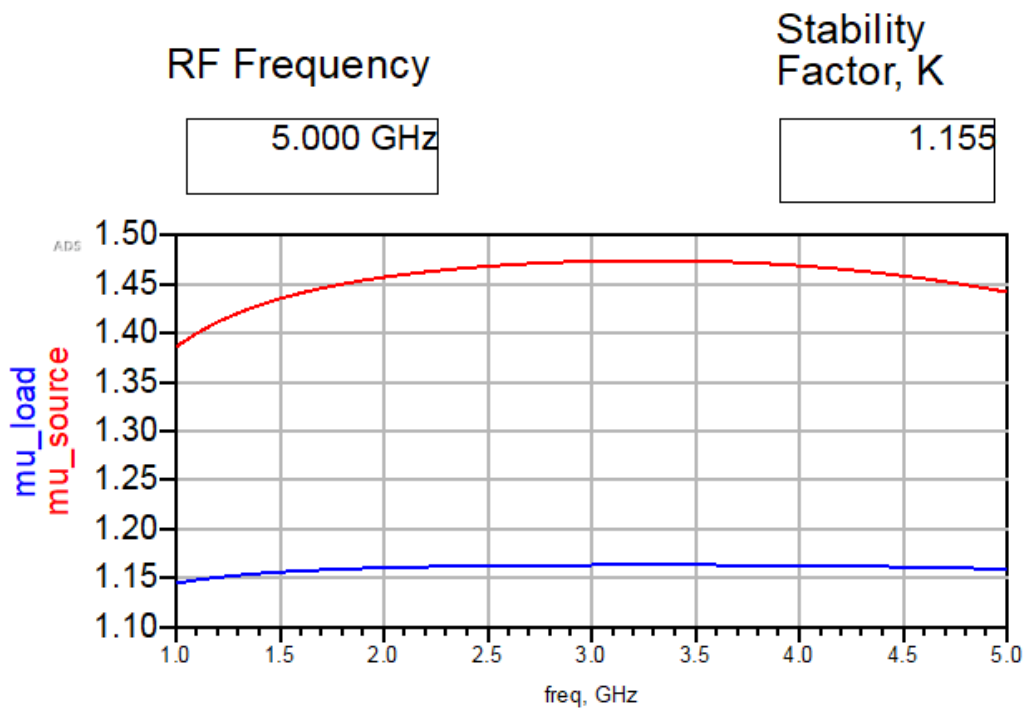


Рисунок 5.10 – Коэффициент устойчивости при частоте 5 ГГц

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы произведен анализ работ в области СШП-радиолокации. Произведено моделирование в профессиональной программе *HFSS* СВЧ-антенн двух видов. Были приведены результаты моделирования рупорной антенны и антенны типа «Бабочка». Построены их *2D*- и *3D*-диаграммы направленности. Построены их частотные характеристики. Показано распределение внутри рупорной антенны и распределение поля на поверхности антенны типа «Бабочка». Для рупорной антенны построен график поляризации. Произведен сравнительный анализ двух СВЧ антенн.

Произведен выбор усилителя. С помощью профессиональной программы *ADS* был смоделирован СВЧ-усилитель мощности. Построены АЧХ и ФЧХ усилителя. Произведен расчет коэффициента устойчивости и стабильности для граничных частот это 1 и 5 ГГц. Построены графики зависимости шума от частоты, построены входные и выходные характеристики.

					БР-02069964-11.03.02-10-18	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		67

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Khablov D. V., Sovlukov A. S. State of the art in microwave devices for determination of alive people through obstacles// Digest of the TransBlack Sea Region Symposium on Applied Electromagnetism. Metsovo, Greece. 1996. – P. 135.

2 Bestimmung der Exposition durch Ultra-Wideband Technologies: Abschlussbericht / G. Schmid, G. Neubauer // Austrian Research Centers GmbH – ARC. – 2008. – P. 129.

3 Калинин В. О. Исследование методов повышения помехоустойчивости сверхширокополосных систем радиосвязи: автореф. / О. В. Калинин; М-во связи РФ, Новосибирск, 2016. – 25 с.

4 ГОСТ 24375– 80. Издания. Международная стандартная нумерация книг. введ. 1982-01-01. – Москва, 10 с. – (Радиосвязь термины и определения).

5 Лазоренко О. Ф. Сверхширокополосные сигналы и физические процессы. // Радиофизика и радиоастрономия. / О. Ф. Лазоренко, Л. Ф. Черногор. – Москва, 2008. – т.13, с.166-194.

6 Дмитриев В. Д. Технология передачи информации с использованием сверхширокополосных сигналов. // Компоненты и технологии. / В. Д. Дмитриев. – Москва, 2003. №9. С. 72-76.

7 Дубровин В. С. Сверхширокополосные системы связи особенности и возможности применения. / В. С. Дубровин, И. В. Колесникова. – Саранск, 2010. С. 8.

8 Дмитриев А. С. Сверхширокополосная беспроводная связь и сенсорные сети. / А. С. Дмитриев, Е. В. Ефремова, Л. В. Кузьмин. // Радио и электроника. – Новосибирск, 2008. Т.53, №10.

9 Радзиевский В. Г. Обработка сверхширокополосных сигналов и помех. / В.Г. Радзиевский, П.А. Трифонов. // Радиотехника-2009. С.288 с.

					Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	БР-02069964-11.03.02-10-18

10 Иммореев И. Я. Возможности и особенности сверхширокополосных систем // Прикладная электроника. – Харьков, 2002. Т.1, № 2. С. 122 -140.

11 Козлов Н. И. Поляризация радиоволн. Поляризационная структура радиолокационных сигналов. / Н. И. Козлов, А. И. Логвин, В. А. Сарычев. // Радиотехника. – 2005. С. 704.

12 Лазоренко О. В. Сверхширокополосные сигналы и физические процессы. / О. В. Лазоренко, Л. Ф. Черногор. // Радиофизика и радиоастрономия. – 2008. Т.13, №2. С.166-194.

13 Чапурский В. В. Избранные задачи теории сверхширокополосных радиолокационных систем. / В. В. Чапурский. – Москва, 2012. С.279.

14 Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. / С. И. Баскаков. – Москва, 2000.

15 Саломатов Ю. П. Устройства СВЧ и антенны. Методические указания к выполнению курсовой работы для студентов направления «Радиотехника». // Ю. П. Саломатов, А. М. Сержантов. – Красноярск, 2008. С.82.

16 Воскресенский Д. И. Устройства СВЧ и антенны. / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов, Л. И. Пономарев. – 2006. С.377.

17 Панасюк Ю. Н. Электромагнитные поля. / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов, 2014. С.96.

18 Шостак А. С. Антенны и устройства СВЧ. / А. С. Шостак. – Томск, 2012. С. 278.

19 Абрамов А. В. Биорадиолокация. / А. В. Абрамов, А. С. Бугаев, С. И. Ивашова. – Москва, 2018. С. 396.

20 Иммореев И. Я. Сверхширокополосные радары. Особенности и возможности. / И. Я. Иммореев. // Радиотехника и Электроника. – Киев, 2009. №1. С.5-31.

21 Калинин В. И. Широкополосный шумовой радиолокатор с корреляционной обработкой для обнаружения движущихся объектов. / В. И. Калинин, В. В. Чапурский. // Радиотехника. – 2005. № 3. С. 51-56.

22 Бугаев А. С. Обнаружение и дистанционная диагностика людей за препятствиями с помощью радиолокационных средств. / А. С. Бугаев, И. А. Васильев, С. И. Ивашов, В. В. Разевиг, А. П. Шейко. –Москва, 2017. 10 с.

23 Ivashov S. I., Makarenkov V .I. Razevig V. V., Sablin V. N., Sheyko A. P., Vasiliev I .A. Remote Control Mine Detection System with GPR and Metal Detector. - Proceedings of the Eight International Conference on Ground Penetrating Radar, GPR'2000, May 23–26, 2000, University of Queensland, Gold Coast, Queensland, Australia, pp. 36–39.

24 Васильев И. А. Зондирование строительных конструкций зданий в радиодиапазоне с высоким разрешением. / И. А. Васильев, С. И. Ивашов, В. И. Макаренков, В. Н. Саблин, А.П. // Радиотехника. -2001. №8. С. 65-68.

25 Банков С. Е. Анализ и оптимизация СВЧ-структур с помощью HFSS. / С. Е. Банков, А. А. Курушин, В. Д. Разевиг – Москва, 2004. 283 с.

26 Ерохин Г. А. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. / Г. А. Ерохин, О. В. Чернышев, Н. Д. Козырев, В. Г. Кочержевский. – 2004. С.491.

27 Онлайн калькулятор СВЧ-антенн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://3g-aerial.biz/onlajn-raschety/raschety-antenn>.

28 Банков С. Е. Проектирование СВЧ устройств и антенн с Ansoft HFSS. / С. Е. Банков, А. А. Курушин. - Москва, 2009. 246 с.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н.П. ОГАРЁВА»
(ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»)

ОТЧЕТ

*о результатах проверки бакалаврской работы обучающегося
на наличие заимствований*

Автор работы Кипайкин Максим Николаевич

Тема работы «Разработка приемопередающего модуля системы
обнаружения людей, находящихся за преградой»

Руководитель Дубровин Виктор Степанович

Представленная работа прошла проверку на наличие заимствований в
системе «Антиплагиат. ВУЗ»

Результаты автоматической проверки: оригинальность 84,84 %
цитирования 0,55%
заимствования 14,61%

Результаты анализа полного отчета на наличие заимствований:
правомерные заимствование: 14,61%

корректные цитирования: 0,55%
неправомерные заимствования: нет
признаки обхода системы: нет

Общее заключение об итоговой оригинальности работы и возможности ее
допуска к защите: система показала, что оригинальный текст в проверяемом
документе составляет 84,84 %, остальные 14,61 % присутствуют в 28
источниках. Анализ источников показал, что в исследуемом тексте имеются
корректные совпадения в виде наименований публикаций, конференций,
терминологии и устойчивых словосочетаний, принятых в данной сфере науки,
нормативных и правовых документах.

Таким образом, студент Кипайкин М. Н. допускается к сдаче ВКР.

Руководитель



В. С. Дубровин

Должность

канд. техн. наук, доц.

ОТЗЫВ

На бакалаврскую работу Кипайкина Максима Николаевича, студента 4 курса дневного отделения института электроники и светотехники направления подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» на тему «Разработка приемопередающего модуля системы обнаружения людей, находящихся за преградой».

Бакалаврская работа выполнена в полном объёме и представлена к сроку. Она состоит из пяти глав.

Целью выпускной работы является разработка приемопередающего модуля системы обнаружения людей, находящихся за преградой.

В процессе работы Кипайкин М. Н. показал себя грамотным специалистом, способным самостоятельно решать поставленные перед ним задачи. При выполнении работы использовано значительное количество специальной литературы, что говорит об умении разбираться в достаточно сложных теоретических вопросах из области связи.

В процессе разработки были рассмотрены следующие вопросы: принцип работы систем для обнаружения людей, находящихся за преградой, было проведено освоение и применение профессиональных пакетов программ для расчёта и моделирования СВЧ устройств, проведен анализ и расчет СВЧ антенн и СВЧ усилителя.

Бакалаврская работа построена логично и оформлена по государственным стандартам. Результаты выпускной квалификационной работы показывают, что поставленная задача выполнена полностью.

Считаю, что бакалаврская работа заслуживает отличной оценки, а студент Кипайкин М. Н. – присвоения квалификации бакалавра по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Руководитель выпускной квалификационной работы:

канд. тех. наук, доц.



В. С. Дубровин