

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ,
ИНФОРМАТИЗАЦИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

На правах рукописи

УДК 621.396:677.31

БУБЕНЦОВ СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ

**Разработка и исследование широкополосной трёхдиапазонной
рупорно-микророскоковой антенны**

**5А311103- Радиотехнические устройства и средства связи
Диссертация на соискание академической степени магистра**

**Научный руководитель:
к.т.н. Писецкий Ю.В.**

Ташкент 2013

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ,
ИНФОРМАТИЗАЦИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

Факультет РРТ

Магистрант Бубенцов С.В.

Кафедра УР и СС

Научный руководитель Писецкий Ю.В.

Учебный год 2012/2013

Специальность 5А311103 – Устройства
радиотехники и средств связи

АННОТАЦИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Магистерская диссертация посвящена актуальной задаче разработки и исследованию широкополосной трехдиапазонной рупорно-микроросковой антенны. В диссертации проводится комплексный анализ тенденций развития рупорных и микроросковых антенн, приведены основные проблемы при разработке рупорных и микроросковых антенн, а также пути их решения. В работе при исследовании рупорных и микроросковых антенн использованы различные методы анализа. При разработке рупорно-микроросковой антенны были применены методы компьютерного проектирования и моделирования на программном комплексе HFSS от компании Ansoft – одной из ведущих компаний в сфере проектирования антенн и устройств СВЧ. Значимость полученных результатов заключается в том, что они могут быть практически использованы при производстве широкополосных антенн и внедрении их в эксплуатацию, что актуально для Республики Узбекистан, так как в нашей стране активно развивается сфера телекоммуникационных технологий. Результаты исследований обсуждались на семинарах кафедры «Радиотехнические устройства и средства связи», и Республиканских научно-технических конференциях.

Научный руководитель _____

Магистрант _____

**STATE COMMITTEE FOR COMMUNICATIONS, INFORMATION
AND TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES OF THE
REPUBLIC UZBEKISTAN**

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGY

Faculty RRT

Master of Bubencov S.V.

The chair DRE and C

Scientific director of Piseckiy Y.V.

The academic year 2012/2013

Specialty 5A311103 - Devices Radio
Engineering and communication

SUMMARY OF MASTER DISSERTATION

Master dissertation is devoted to the important task of developing and researching tri-band wideband horn- microstrip antenna. In the dissertation, a comprehensive analysis of the development trends of horn and microstrip antennas are the key issues in the development of horn and microstrip antennas, as well as their solutions. In the study of horn and microstrip antennas used different methods of analysis. In the development of horn- microstrip antennas have been applied methods of computer design and simulation software package from the company Ansoft HFSS - one of the leading companies in the design of antennas and microwave devices. The significance of these results is that they can be practically used in the manufacture of broadband antennas and implementing them into service, which is important for the Republic of Uzbekistan, as in our country is actively developing area of telecommunication technologies. The research results were discussed at the seminar of the "Radio devices and means of communication" and the Republican Scientific and Technical Conference.

Scientific director of

Master of

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
Глава I. Обзор рупорных и микрополосковых антенн.....	8
1. Обзор рупорных антенн.....	8
2. Обзор микрополосковых антенн.....	15
Выводы к главе I.....	22
Глава II. Предпосылки развития антенн.....	23
1. Тенденции развития рупорных антенн.....	23
2. Расширение рабочей полосы частот.....	23
3. Уменьшение габаритных размеров антенны.....	25
4. Уменьшение бокового излучения.....	27
5. Тенденции развития микрополосковых антенн.....	28
6. Расширение рабочей полосы частот.....	29
7. Повышение коэффициента полезного действия.....	35
Выводы к главе II.....	38
Глава III. Разработка рупорно-микрополосковой антенны.....	39
1. Характеристика программы Ansoft HFSS.....	39
2. Разработка рупорно-микрополосковой антенны в программе HFSS....	41
3. Применение широкополосной рупорно-микрополосковой антенны...53	
4. Сравнение характеристик рупорно-микрополосковой антенны с современными видами антенн.....	62
Выводы к главе III.....	66
Заключение.....	67
Список используемой литературы.....	69

Введение

Обоснование темы диссертации и актуальность. В Республике Узбекистан создана современная и мощная законодательная база в сфере информационно-коммуникационных технологий [1-4]. В республике предусмотрены проведение модернизации, технического и технологического перевооружения предприятий, широкое внедрение современных гибких технологий. Ставится задача ускорения реализации принятых отраслевых программ модернизации, технического и технологического перевооружения производства [7]. Одной из важнейших задач, которая стоит перед нашим обществом, является обеспечение поступательного и устойчивого развития страны [8]. В Постановлении Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему внедрению и развитию современных информационных технологий» принята «Программа дальнейшего внедрения и развития информационно-коммуникационных технологий в Республике Узбекистан на 2013-2014 годы», в которой большое внимание уделяется развитию инфраструктуры информационно-коммуникационных технологий, в частности, разработке и реализации технических проектов, направленных на обеспечение предоставления населению услуг широкополосного доступа [5,6]. В процессы модернизации и технического перевооружения входят и разработка и внедрение новых устройств связи, которые позволяли бы расширить их функциональные и сервисные возможности, уменьшить массогабаритные показатели, увеличить надежность их работы и повысить экономический эффект. Поэтому задача разработки и внедрения в производство новых конструкций антенн является актуальной в Республике Узбекистан.

Объект и предмет исследований. *Объектом* исследований является широкополосная рупорно-микрорезонаторная антенна. *Предмет*

исследований – разработка широкополосной рупорно-микроразомной антенны и возможность ее применения на территории Республики Узбекистан.

Цель и задача исследований. Целью диссертационной работы является проведение комплексных исследований характеристик и особенностей применения широкополосной рупорно-микроразомной антенны.

Для достижения данной цели необходимо было решать следующие задачи:

- провести систематизированный анализ микроразомных и рупорных антенн;
- рассмотреть применение широкополосной антенны, применительно к Республике Узбекистан.

Гипотеза исследований. При проведении исследований в данной диссертации предполагается, что результаты исследований могут быть использованы практически для дальнейших разработок и внедрений в производство новых конструкций антенн.

Краткий литературный обзор по теме диссертации. В настоящее время во всемирной научной литературе большое внимание уделяется развитию широкополосного доступа. Вопросами исследования и развития широкополосных антенн занимались ведущие специалисты и ученые в области проектирования антенн и устройств СВЧ всего мира. Результаты исследований широко освещены в мировой научной литературе, интернете.

Методы исследований. В работе были использованы методы анализа, синтеза, индукции, дедукции полученных результатов исследования рупорных и микроразомных антенн.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы практически для проектирования и внедрения в

производство новых конструкций широкополосных антенн.

Научная новизна исследований. На основе проведенных исследований получены следующие научные результаты:

- выполнен обзор и анализ задач стоящих перед разработчиками рупорных и микрополосковых антенн, а также пути их решения;

-разработана новая конструкция широкополосной антенны, с возможностью применения её в составе известных сетей сотовой связи

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Основной текст диссертации занимает 72 страниц. Работа содержит 14 рисунка, включая графики, 1 таблицу, а также список литературы из 36 наименований.

Глава I. Обзорная часть

1. Обзор рупорных антенн

Рупорные антенны являются одними из основных антенн в диапазоне СВЧ радиоволн. СВЧ диапазон - частотный диапазон электромагнитного излучения, расположенный в спектре между ультравысокими телевизионными частотами и частотами дальней инфракрасной области. Этот частотный диапазон соответствует длинам волн от 30 см до 1 мм, поэтому его называют также диапазоном дециметровых и сантиметровых волн.

Так как по длине волны излучение СВЧ-диапазона является промежуточным между световым излучением и обычными радиоволнами, оно обладает некоторыми свойствами и света, и радиоволн. По аналогии со световыми волнами волны излучения СВЧ-диапазона, распространяются прямолинейно и огибают лишь предметы, имеющие геометрические размеры, соизмеримые с длиной волны. Огибание препятствий радиоволнами - дифракция, явление, которое проявляет себя как отклонение от законов геометрической оптики при распространении волн. Она представляет собой универсальное волновое явление и характеризуется одними и теми же законами при наблюдении волновых полей разной природы. Дифракция проявляется тем сильнее, чем больше длина волны и чем меньше размеры препятствия. На границе двух сред происходит отражение радиоволн по закону оптики – угол падения равен углу отражения. Частичное преломление радиоволн также происходит по законам оптики. Крупные искусственные сооружения и горы, встречающиеся на пути радиоволн, а также сферическая форма земли препятствуют распространению радиоволн вдоль земли. Вследствие этого дальность вещания антенны ограничивается прямой видимостью. [11]

Рупорная антенна – антенна, состоящая из металлического расширяющегося раструба (рупора) и подсоединённого к нему радиоволновода. Рупорные антенны относятся к классу апертурных антенн – антенн характеризующихся наличием поверхности (апертуры) на которой происходит трансформация высокочастотной энергии, распространяющейся в линии передачи, в энергию свободных электромагнитных волн. Размеры апертуры обычно значительно превышают размеры длины волны, на которой работает антенна. Характеристики антенны определяются структурой поля на апертуре, то есть, зависят от ее конструкции. Элементарным излучателем в апертурных антеннах является элемент Гюйгенса. Элемент Гюйгенса - элементарный поверхностный излучатель. Элементом Гюйгенса называют элемент волновой поверхности бегущей волны, линейные размеры которого много меньше длины волны, который в следствие этого можно считать плоским и в пределах которого касательные составляющие электрического (E) и магнитного (H) поля сохраняют постоянные значения. [28,29]

Рупорные антенны являются дальнейшим развитием простейшей апертурной антенны как открытый конец волновода. Электромагнитная волна, распространяющаяся по волноводу, дойдя до его открытого конца, частично излучается и частично отражается. Физическими источниками излучения являются электрические токи, возбуждаемые на внутренних стенках волновода. В инженерном решении приближенно полагают, что структура электромагнитного поля в плоскости открытого конца волновода такая же, как в поперечном сечении бесконечно длинного волновода, т. е. пренебрегают волнами высших типов, излучением токов, затекающих на наружные поверхности стенок волноводов, и не учитывают волны, отраженные от открытого конца волновода. В случае волновода прямоугольного сечения возбуждаемого основной волной H₁₀,

на его открытом конце существуют взаимно перпендикулярные тангенциальные составляющие поля E_y и H_x .

Критическая частота волны H_{10} – максимальная среди всех типов волн в прямоугольном волноводе, поэтому она называется основной. Для волновода заданного сечения существует диапазон частот, ограниченный снизу критической частотой волны H_{10} , а сверху – критической частотой следующей распространяющейся волны. Если в волноводе имеется какое-либо препятствие, нерегулярность (в предельном случае он просто закрыт металлической пластиной), то в нем появляется отраженная волна. Падающая и отраженная волна интерферируют и создают в волноводе стоячую волну. [9]

Волны H_{10} по сравнению с другими характеризуются:

- наиболее простой конфигурацией поля, обусловленной отсутствием всех составляющих напряженности электрического поля, за исключением E_y ;

- наибольшей предельной длиной, из всех возможных типов волн, т. е. при заданной длине волны генератора размеры волновода будут наименьшими; наименьшим затуханием при распространении по волноводу;

- наиболее простыми в конструктивном отношении вводными и выводными устройствами;

- наибольшей пригодностью для излучения с открытого конца волновода или рупора.

В Характеристику направленности открытого конца волновода прямоугольного сечения в плоскости E , параллельной размеру поперечного сечения, можно представить в виде произведения множителя системы плоского раскрытия на характеристику направленности элемента Гюйгенса в этой плоскости. В плоскости H характеристика направленности открытого конца волновода прямоугольного сечения представляет собой произведение множителя системы синфазного

раскрыва с косинусоидальным распределением амплитуды возбуждающего поля на характеристику направленности элемента Гюйгенса в плоскости H . Поскольку поперечные размеры прямоугольного волновода a и b невелики и соизмеримы с длиной волны λ и поверхностные токи затекают на внешние стенки волновода, то диаграмма направленности антенны в виде открытого конца волновода имеет один широкий лепесток. Антенна в виде открытого конца волновода оказывается плохо согласованной со свободным пространством из-за резкого изменения условий распространения при переходе от волновода к свободному пространству.

Концентрация излучения в пределах более узкого телесного угла достигается увеличением размеров синфазно возбужденной поверхности. Если размеры сечения волновода выбираются таким образом, чтобы обеспечить формирование необходимой структуры поля, то, плавно увеличивая сечение волновода, эту структуру можно сохранить, а размеры излучаемой поверхности увеличить. В месте перехода от волновода к рупору возникают высшие типы волн, но при достаточно плавном расширении волновода (при малом угле раствора рупора) интенсивность этих волн невелика. Существуют различные типы рупоров. Рупор, образованный увеличением размера, a волновода, параллельного вектор H , называется секториальным H -плоскостным. Рупор, образованный увеличением размера волновода, параллельного вектору E , называется секториальным E -плоскостным). Рупор, образованный одновременным увеличением размера параллельного вектор H и параллельного вектору E , называется пирамидальным, а увеличением поперечного сечения круглого волновода - коническим. При плавном переходе от волновода к рупору структура поля в последнем напоминает структуру поля в волноводе. Векторы электромагнитного поля при переходе из волновода в рупор несколько

изменяют свою форму, чтобы обеспечить выполнение граничных условий на стенках рупора. На рис. 1.1 представлены типы рупорных антенн.

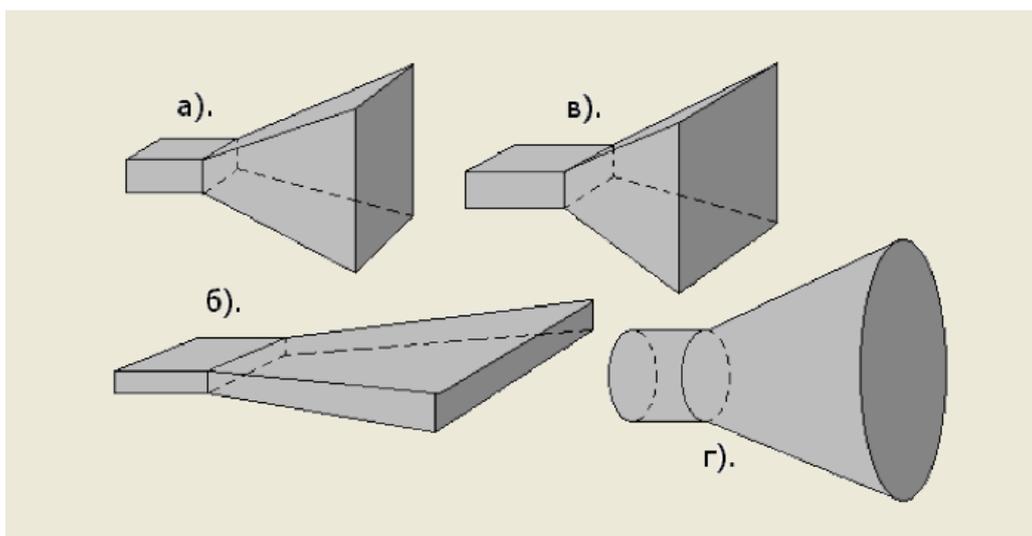


Рис. 1.1 Типы рупорных антенн: а) Е-секториальный, б) Н-секториальный, в) пирамидальный, г) конический.

Направленные свойства рупорной антенны приближенно можно анализировать как в случае открытого конца волновода, пользуясь принципом эквивалентности. На излучающей поверхности рупора действуют две взаимно перпендикулярные тангенциальные составляющие поля E_y и H_x (прямоугольный раскрыв), амплитуды которых не зависят от координаты y , а вдоль координаты x они изменяются по закону косинуса.

Однако в отличие от поверхности открытого конца волновода плоская излучающая поверхность рупора не может быть синфазной, так как в раскрыве рупора имеются фазовые искажения.

В раскрыве рупорной антенны имеется примерно квадратичное фазовое распределение. Максимальный сдвиг фаз на краях раскрыва ($x = \pm ar/2$), $\psi_{\max} = \pi ar^2 / (4\lambda LH)$. При достаточно больших значениях ψ_{\max} (90°) диаграмма направленности рупорной антенны заметно отличается от диаграммы направленности синфазной излучающей поверхности. При этом симметрия диаграммы направленности относительно нормали к возбужденной поверхности сохраняется.

Поскольку в рупорной антенне практически невозможно добиться полной синфазности излучающей поверхности, то обычно, задаваясь некоторым допустимым сдвигом фаз, выбирают размеры раскрыва рупора и его длину.

Этот сдвиг должен быть таким, чтобы диаграммы направленности рупорной антенны мало отличалась от диаграммы направленности синфазной излучающей поверхности, размеры которой равны размерам раскрыва рупора. Допустимый максимальный сдвиг фаз определяется условием получения максимального коэффициента направленного действия при заданной относительной длине L/λ рупора. С увеличением относительных размеров раскрыва рупора) при неизменной длине его диаграмма направленности сначала становится уже и КНД растет, так как увеличиваются размеры излучающей поверхности, которая практически остается синфазной (сдвиг фаз ψ мал). При дальнейшем увеличении размеров заметно растут фазовые искажения, вследствие чего ДН начинает расширяться и КНД уменьшается. При заданном отношении L/λ имеется определенное оптимальное значение ar/λ или br/λ , при котором КНД антенны - максимально возможный. Оптимальному значению ar/λ или br/λ соответствует допустимый сдвиг фаз. Рупор, размеры которого подобраны так, чтобы при заданной длине L/λ получить максимальный КНД, называется оптимальным.

Чтобы КНД возрастал, относительная длина рупора L/λ должна увеличиваться пропорционально квадрату относительных размеров раскрыва рупора.

В настоящее время находят применение рупоры, у которых сдвиги фаз поля в раскрыве значительно превосходят максимально допустимые. При больших по сравнению с λ раскрывах ar и br и больших углах растворов рупора γ_0 ДН становится по форме близкой к столообразной. Такие расфазированные рупоры обладают более широким рабочим диапазоном,

чем синфазные рупоры. Их ДН при $\psi_{\max} > 1,5\pi$ сравнительно мало зависят от частоты.

Для получения круговой (или близкой к ней) поляризации, излучаемого рупором поля, применяются фазирующие секции, устанавливаемые в волноводе, питающем рупор. В фазирующей секции происходит разложение вектора линейно поляризованного электромагнитного поля на две взаимно перпендикулярные составляющие, лежащие в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, и обеспечение между ними на выходе секции сдвига фаз.

Существуют различные фазирующие секции. В качестве фазирующей секции можно, например, использовать отрезок волновода с квадратным поперечным сечением, возбуждаемый прямо-угольным волноводом с волной Н10. Возбуждающий волновод соединяется с фазирующей секцией плавным пирамидальным переходом. Поперечные сечения возбуждающего волновода и фазирующей секции повернуты относительно друг друга на 45° . В результате вектор E поля в фазирующей секции будет иметь составляющие E_x и E_y , параллельные взаимно перпендикулярным стенкам. Таким образом, поле в секции можно рассматривать как суперпозицию волн Н10 и Н01.

Для создания необходимого сдвига фаз между составляющими E_x и E_y в фазирующую секцию устанавливают тонкую диэлектрическую пластинку, причем так, чтобы большой размер ее поперечного сечения был параллелен либо составляющей E_x , либо E_y . Такая пластинка влияет, в основном, на фазовую скорость той волны, линии вектора E которой параллельны поверхности пластины. Толщина пластинки выбирается достаточно малой по сравнению с рабочей длиной волны. Тем самым она не оказывает заметного влияния на фазовую скорость волны, вектор E которой перпендикулярен поверхности пластины.

При квадратном раскрыве пирамидального рупора ширина главного лепестка ДН в двух взаимно перпендикулярных плоскостях получается неодинаковой из-за различных амплитудных распределений возбуждающего поля в Е- и Н-плоскостях. В Н-плоскости ДН (по нулевому излучению) примерно в 1,5 раза шире, чем в Е-плоскости. Между тем в ряде случаев желательно иметь одинаковые ДН в обеих плоскостях. Это особенно важно при круговой поляризации излучаемого поля.

Один из способов получения одинаковых ДН состоит в том, что в квадратном раскрыве устанавливаются металлические ребра высотой Δ на расстоянии $c < \lambda/2$ друг от друга. Если вектор Е поляризован вдоль оси x , то такая волна не может распространяться между пластинами, параллельными оси x , из-за того, что размер $c < \lambda/2$. Для нее размер раскрыва a как бы уменьшается и становится равным $a - 2\Delta$. Если $\Delta = 0,17/a$, то размер апертуры, параллельный оси x , в 1,5 раза будет меньше размера b , параллельного оси y . Так как на составляющую E_y данные ребра не воздействуют, то ДН для обеих поляризаций поля в плоскости hoz будут примерно одинаковы. Аналогичным образом (с помощью ребер, прикрепленных к другим стенкам рупора) можно выровнять ДН в плоскости uoz . Так же реализуются свойства фазирующей секции и без размещения диэлектрической пластины. Для этого вместо волноводной секции квадратного сечения следует взять волновод, несколько отличающийся от квадратного сечения.

Сдвиг фаз в 90° обеспечивается соотношением размеров поперечного сечения a , b и длины l такого волновода за счет различия коэффициентов. [10]

2. Обзор микрополосковых антенн

Микрополосковая антенна представляет собой металлический проводник определенной формы, расположенный над заземленной

подложкой. Микрополосковые антенны предназначены для приема и излучения электромагнитной энергии с линейной, круговой и эллиптической поляризацией, в диапазоне дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волн. Такой тип антенн применяют и в аэрокосмической технике, как антенны радиолокационных станций. Из-за дешевизны и надёжности конструкции МПА нашли широкое применение в мобильной связи. К простейшим излучателям в печатном исполнении относят плоские симметричные вибраторы различной конфигурации, расположенные на диэлектрической подложке параллельно проводящему экрану. Параметры диэлектрического слоя (его толщина, диэлектрическая проницаемость) влияют на резонансную длину плеч вибраторов.

Используют также печатные излучатели резонаторного типа, представляющие собой диск, расположенный над металлическим экраном на диэлектрической подложке и возбуждаемый коаксиально линией или полосковой линией с противоположной стороны экрана.

Параметрами микрополосковых антенн являются:

Входное сопротивление - это эквивалентное сопротивление линии на ее входе, которое определяется отношением напряжения к току в сечении линии.

Рабочая полоса частот - полоса частот в пределах, которой другие параметры не выходят за пределы допусков, установленных техническим заданием.

Коэффициент полезного действия (КПД) - отношение мощностей излученной антенной и подводимой к антенне.

Коэффициент направленного действия (КНД) - численная величина, показывающая во сколько раз мощность, излучаемая в данном направлении отнесенная к единице телесного угла (интенсивность излучения в данном направлении) больше интенсивности излучения абсолютно ненаправленной антенны, при условии равенства полных мощностей, излучаемых обеими антеннами.

Коэффициент усиления (КУ). Различают абсолютный и относительный КУ.

Абсолютный (изотропный) КУ антенны показывает во сколько раз интенсивность излучения в данном направлении, больше интенсивности абсолютно ненаправленной (гипотетической) антенны с КПД равным 100%, при условии равенства подводимых к обеим антеннам мощностей.

Диаграмма направленности может быть амплитудной и фазовой. Она показывает зависимость амплитуда или фазы вектора напряженности электрического поля от угловых координат точки наблюдения, находящейся на фиксированном расстоянии в дальней зоне.

Поляризация - ориентационная характеристика векторов электромагнитной волны. [10]

Класс микрополосковых антенн отличается большим разнообразием типов антенн, кроме того, имеется значительное число гибридных конструкций, объединяющих различные типы МПА. Слабонаправленных антенн микрополосковые антенны можно разделить на следующие классы и виды:

I. Вибраторные антенны: вибраторы, поливибраторные антенны; шлейфовые вибраторы.

II. Щелевые антенны: щели, возбуждаемые МПА, щелевые антенны с микрополосковым резонатором; открытый конец МПЛ.

III. Плоские двумерные МПА: плоские МПА резонансного типа; плоские МПА нерезонансного типа; плоские антенны с распределенным возбуждением.

IV. Частотно-независимые и многочастотные антенны: спиральные МПА; логопериодические антенны; многочастотные антенны.

Типичная конструкция МПА представляет собой тонкую (порядка десятков микрон) плоскую проводящую пластину той или иной формы, размещенную на диэлектрическом слое - подложке толщиной $h = (0,003 \dots 0,08)\lambda$, ограниченном снизу проводящей экранной плоскостью, λ -

длина волны в свободном пространстве. На рис. 1.2 представлены примеры конструкций микрополосковых антенн.

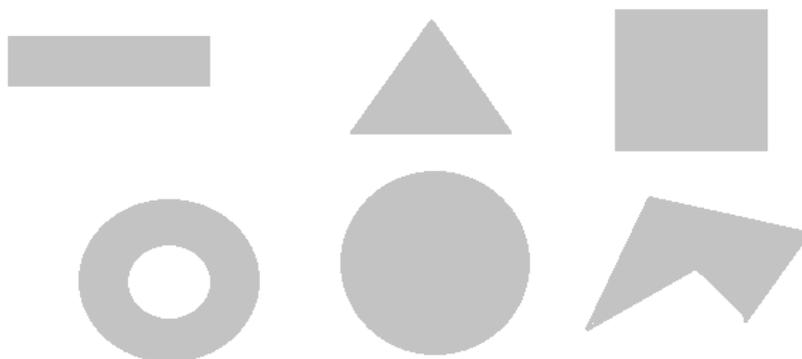


Рис. 1.2 Примеры конструкций микрополосковых антенн.

В качестве подложки обычно используются материалы с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2 \dots 10$, но, в зависимости от приложений, возможен и более широкий спектр значений ϵ . Основное требование к материалу подложки - малые потери. Подложки из сотового материала с $\epsilon = 1,05$ или МПА с воздушным зазором имеют наименьшие потери и обеспечивают наибольшую эффективность излучения антенны. Увеличение величины ϵ используемой подложки позволяет создать антенну меньших габаритных размеров с более широкой диаграммой направленности. Кроме того, к материалу выполнения микрополосковых антенн предъявляются требования: высокой механической прочности, теплостойкости, однородности материала, устойчивости параметров во времени, малой гигроскопичности.

Пластины МПА чаще всего имеют прямоугольную или круглую форму, однако принципиально возможна произвольная форма с известной резонансной частотой. Выбором формы пластины можно как существенно улучшить согласование МПА с фидерной линией, так и реализовать круговую поляризацию излучения антенны.

Возбуждение МПА осуществляется как прямым гальваническим контактом с микрополосковой линией или коаксиальным зондом, так и

неконтактным методом - электромагнитной связью через отверстие в экранной плоскости или взаимодействием за счёт близости с несущими СВЧ-энергию цепями.

Использование неконтактного возбуждения МПА позволяет проявить большую гибкость и свободу выбора на стадии отработки размеров антенны и определения взаимного положения её отдельных элементов.

Преимущества МПА объясняются удобствами реализации современными средствами печатной технологии приведённых типовых конструкций, благодаря чему сравнительно легко обеспечиваются весьма важные при массовом производстве повторяемость размеров и низкая стоимость. Применение интегральной технологии позволяет также значительно - на порядок и более - снизить массогабаритные характеристики антенно-фидерных устройств (АФУ) и изготавливать их в одном технологическом цикле вместе с другими пассивными и активными компонентами в виде законченных модулей или функциональных узлов, что соответствует современной тенденции развития микроэлектроники и потребностям промышленности в микроминиатюризации радиоэлектронной аппаратуры. Микрополосковые антенны при возбуждении подходящего распределения тока на пластине соответствующей формы позволяют реализовать достаточно широкий класс диаграмм направленности для произвольного типа поляризации излучения.

Основным недостатком микрополосковых излучателей является их узкополосность. Естественный путь расширения полосы частот за счёт использования более толстых подложек имеет ограниченные возможности, так как при этом создаются условия для возникновения в подложке поверхностных волн, резко снижающих эффективность антенны. В настоящее время основными методами увеличения широкополосности МПА являются:

-добавление в конструкцию антенны связанных с основной пластиной как активных, так и пассивных излучающих элементов;

-использование логопериодических структур излучающих элементов;

- применение согласующих цепей или пластин сложной формы.

Пассивные элементы МПА могут располагаться как в одной плоскости с активным элементом, так и в разных плоскостях. Для фиксации взаимного положения элементов конструкции МПА используется опорный стержень между центрами пластин, влияние которого на характеристики излучателя минимально ввиду конфигурации основной резонансной моды (нормальная компонента Е-поля в центре пластин обращается в 0).

Добавление пассивного элемента увеличило полосу частот по уровню КСВ почти в 9 раз по сравнению с обычной МПА. Среди используемых вариантов МПА присутствует конструкция антенны без подложки, в которой пластина поддерживается на достаточно большой высоте над экранной плоскостью (для обеспечения существенной полосы частот) с помощью одной или нескольких диэлектрических опор и связана с зондами возбуждения в общем случае трёхмерными пространственными переходами. Исключение из конструкции МПА подложки повышает эффективность излучения антенны, поскольку отсутствуют потери в материале диэлектрика, даёт возможность работы с более высокими уровнями мощности и в ряде случаев уменьшает стоимость изготовления. Схема возбуждения совместима с используемыми в волноводной технике конструктивными методами согласования и в ней отсутствует дисперсия в достаточно широкой полосе частот. Кроме того, в подобных конструкциях не возникают поверхностные волны - основной источник «ослепления» сканирующих антенных решёток, и не возникают интермодуляционные искажения из-за нелинейных явлений в диэлектрике подложки при больших уровнях излучаемой мощности. Указанные достоинства позволяют считать МПА с подвешенными

пластинами, подходящими для элементов фазированных антенных решёток. [11]

Характеристики МПА позволяют использовать данный тип антенн как элемент антенных решеток.

Фазированная антенная решётка — тип антенн, в виде группы антенных излучателей, в которых относительные фазы сигналов изменяются комплексно, так, что эффективное излучение антенны усиливается в каком-то одном, желаемом направлении и подавляется во всех остальных направлениях. В зависимости от требуемой формы ДН и необходимого пространственного сектора сканирования в ФАР применяют различное взаимное расположение элементов: вдоль линии (прямой или дуги); по поверхности (плоской, цилиндрической, сферической) или в заданном объёме (объёмные ФАР). В некоторых случаях форма излучающей поверхности ФАР – раскрыва, определяется конфигурацией объекта, на котором устанавливается ФАР. Возбуждение излучателей ФАР производится либо при помощи фидерных линий, либо посредством свободно распространяющихся волн (квазиоптических ФАР), фидерные тракты возбуждения наряду с фазовращателями содержат сложные электрические устройства, обеспечивающие возбуждение всех излучателей от нескольких входов, что позволяет создать в пространстве соответствующие этим входам одновременно сканирующие лучи (в многолучевых ФАР). Квазиоптические ФАР в основном бывают двух типов: проходные (линзовые), в которых фазовращатели и основные излучатели возбуждаются (при помощи вспомогательных излучателей) волнами, распространяющимися от общего облучателя, и отражательные – основной и вспомогательные излучатели совмещены, а на выходах фазовращателей установлены отражатели. Многолучевые квазиоптические ФАР содержат несколько облучателей, каждому из которых соответствует свой луч в пространстве. В некоторых вариантах конфигураций в ФАР для формирования ДН

применяют фокусирующие устройства (зеркала, линзы). Наибольшими возможностями управления характеристиками обладают активные ФАР, в которых к каждому излучателю или модулю подключен управляемый по фазе передатчик или приёмник. Управление фазой в активных ФАР может производиться в трактах промежуточной частоты либо в цепях возбуждения когерентных передатчиков, гетеродинов приёмников. Таким образом, в активных ФАР фазовращатели могут работать в диапазонах волн, отличных от частотного диапазона антенны; потери в фазовращателях в ряде случаев непосредственно не влияют на уровень основного сигнала.[30]

3. Выводы к Главе I

В данной главе рассмотрены конструкции и принципы работы рупорных и микрополосковых антенн, приведены их классификации, раскрыты их преимущества и недостатки.

Глава II. Предпосылки развития антенн

1. Тенденции развития рупорных антенн

На протяжении двадцатого века конструкции антенн постоянно изменялись и улучшались, данная тенденция обуславливалась растущими требованиями предъявляемые обществом в связи с повсеместным использованием и внедрением средств радиосвязи, телевидения, радиолокации и т.д. Ниже представлен обзор задач и проблем, которые стояли перед разработчиками антенн, и идеи и пути решения которые были найдены и внедрены в новое поколение антенн.

2. Расширения рабочей полосы частот

Одной из основных задач, стоящей перед разработчиками, является расширение рабочей полосы частот. В качестве примера можно привести конструкцию рупорной антенны, в которой используется волноводно-коаксиальный переход в виде короткой линии с внешним проводником, имеющим внутреннюю поверхность, представляющую собой несимметричную прямоугольную ступенчатую структуру, ступеньки которой закрыты в нижней части полосками из радиопоглощающего материала, и с эксцентрично расположенным сужающимся прямоугольным внутренним проводником. В раскрыве рупора установлена диэлектрическая линза с поляризационной решеткой.

Антенна работает следующим образом. Металлический гребенчатый Н-образный рупор возбуждается коротким ступенчатым сверхширокополосным волноводно-коаксиальным переходом, который в свою очередь трансформирует коаксиальный тип волны стандартной 50 Ом коаксиальной линии антенны в симметричный Н-образный волновод

рупора без дополнительных переходов к несимметричным Н-образному и коньковому волноводам. Для уменьшения несинфазности излучающей поверхности рупора в раскрыве его установлена диэлектрическая линза с поляризационной решеткой. Линза позволяет осуществить коррекцию фазовых искажений и обеспечить нормальные диаграммы направленности рупора во всем рабочем диапазоне частот, а также уменьшить уровень кроссполяризационной составляющей излучаемого поля.[12]

Следующая конструкция рупорной антенны позволяющая увеличить рабочий диапазон частот содержит рупорный излучатель, выполненный из двух симметричных частей, разделенных продольными щелями, а соосно-рупорному излучателю внутри его установлен дополнительный рупор.

При возбуждении в горловине рупорной антенны волны формируется однородное по поляризации и фазе поле, что является условием получения направленного вдоль оси рупорной антенны излучения. Кроме того, наличие продольных щелей позволяет возбудить желаемую волну подводом возбуждающего напряжения к половинкам рупорной антенны. В этих щелях возбуждается поперечное магнитное поле, следствием чего является излучение из щелей. Поляризация поля, излученного щелями, совпадает с поляризацией поля в раскрыве рупорной антенны. Такая щель может рассматриваться в качестве излучателя бегущей волны, фазовая скорость в котором совпадает со скоростью света. В подобных случаях максимум излучения такой антенны совпадает с продольной осью щели, т. е. практически совпадает с осью рупорной антенны. Таким образом, излучаемое щелями поле лишь добавляется к излучению собственно рупора. В данной рупорной антенне сочетаются достоинства, с одной стороны, широкополосных вибраторных антенн, базирующихся на том обстоятельстве, что в процессе возбуждения и излучения этих антенн используются бегущие волны, для которых характерны отсутствия

частотных ограничений и дисперсии, и достоинства рупорных антенн, отличающихся направленностью излучения. Кроме того, в рупорной антенне отсутствуют резонансные явления, ограничивающие ее широкополосность.[13]

Для решения поставленной задачи (расширения рабочей полосы частот) предлагается антенна, имеющая форму, приближающуюся к сегментарной. Антенна содержит две параллельные боковые пластины. Задняя сторона антенны образована центральной прямолинейной пластиной, переходящей в расходящиеся под углом две одинаковые внешние части, продолжающиеся до апертуры антенны. В центральной части антенны расположена треугольная структура, основание которой параллельно прямолинейной пластине задней стороны антенны. Между боковыми пластинами расположены с промежутками две группы параллельных пластин. Одна из этих групп параллельна одной из сторон центральной треугольной структуры.

Вторая группа параллельна второй стороне центральной треугольной структуры. Упомянутые параллельные пластины продолжаются от апертуры антенны до воображаемой поверхности, находящейся на расстоянии от внешних частей антенны. К фидеру антенны подключены два волновода через волноводный ответвитель, причем ответвитель соединен с внешними частями и с основанием треугольной структуры. [14]

3. Уменьшение габаритных размеров антенны.

Для уменьшения осевой длины рупорной четырехгребневой антенны при сохранении размеров и угла раскрытия без уменьшения рабочей полосы частот в дециметровом и метровом диапазонах.

Конструкция содержит пирамидальный рупор, на внутренних стенках которого вдоль их осей симметрии расположены две пары взаимно

перпендикулярных гребней, отрезок прямоугольного волновода, присоединенный к горловине пирамидального рупора, и два наружных коаксиальных разъема, введены два симметрирующих трансформатора расположенных снаружи отрезка прямоугольного волновода, причем их симметричные входы соединены отрезками коаксиального кабеля равной длины с дополнительными коаксиальными разъемами, расположенными на задней стенке отрезка прямоугольного волновода, напротив каждого из взаимно перпендикулярных гребней, а выходы - к наружным коаксиальным разъемам, при этом каждый из взаимно перпендикулярных гребней соединен отрезком проводника двухпроводной линии через отверстие в задней стенке отрезка прямоугольного волновода с соответствующим дополнительным коаксиальным разъемом.

При распространении электромагнитной волны вдоль оси пирамидального рупора электромагнитное поле локализуется в основном между кромками двух пар взаимно перпендикулярных гребней. При этом высшие, типы волн практически не возбуждаются, так как возбуждающее напряжение с помощью отрезков проводников двухпроводной линии приложено к кромкам двух пар взаимно перпендикулярных гребней. Использование симметрирующих трансформаторов в сочетании с высокоомной симметричной двухпроводной линией для возбуждения рупорной четырехгребневой антенны обеспечивает возможность плавного преобразования волнового сопротивления от 200 Ом в горловине до 400 Ом в раскрыве при меньшей осевой длине антенны. Поскольку размеры горловины пирамидального рупора, угол раскрыва и отношение

высоты гребней к размеру горловины сохраняются, рабочая полоса частот остается неизменной.

Таким образом, данная конструкция позволяет уменьшить осевую длину рупорной четырехгребневой антенны при сохранении рабочей полосы частот в дециметровом и метровом диапазонах.[15]

Уменьшение габаритных размеров также достигалась следующим образом. В рупорной антенне содержащей рупор в виде усеченного кругового конуса и штыревой возбудитель, ось которого проходит через ось усеченного кругового конуса. Штыревой возбудитель размещен внутри рупора в сечении с диаметром $D = (0,7 \pm 0,1)A$, где A - рабочая длина волны, причем ось штыревого возбудителя наклонена к вершине усеченного кругового конуса на угол $\alpha = 25 \pm 5^\circ$ относительно нормали к образующей усеченного кругового конуса, а диаметр меньшего основания усеченного кругового конуса составляет не более $0,586 A$. Наклон штыревого возбудителя, на угол $\alpha = 25 \pm 5^\circ$ внутрь рупора вызывает возбуждение не только волны Н, но и волн Е-типа, распространяющихся в сторону раскрытия рупора. Гибридномодовый режим возбуждения позволяет при простоте конструкции получить малый уровень бокового излучения и равенство диаграмм направленности в плоскостях Е и Н.[16]

4. Уменьшение бокового излучения.

Указанная цель достигалась рупорной антенной по средствам того, что зубцы периодической зубчатой структуры рупора были отогнуты в разные стороны от образующей рупора на угол $5-45^\circ$, так же был введен дополнительный экран, выполненный в виде структуры, дополняющей зубчатую по сплошной и размещенной с внешней стороны рупора под углом $85-105^\circ$ к его образующей. Вследствие изрезанности образующей рупора осуществлялся достаточно плавный переход параметров среды от металла к свободному пространству. Благодаря этому волна, отраженная от границы раздела, уменьшается по амплитуде. По параметру периодической зубчатой структуры протекают токи с разной фазой и направлением. Поэтому средний уровень эффективного возбуждения кромки в плоскости Е меньше, чем в рупоре с гладкой кромкой. Соот-

ответственно уменьшается уровень дифракционных полей, обусловленных кромкой рупора, как для волн, распространяющихся во внешнем пространстве, так и внутри рупора. Для уменьшения уровня боковых лепестков в заднем полупространстве используются дополнительный экран, зубцы которого дополняют зубчатую структуру до сплошной.[17]

Также поставленная цель достигается тем, что в рупорной антенне, содержащей рупор, на внутренней поверхности которого выполнены поперечные канавки, глубина которых плавно уменьшается от $\lambda_{cp}/2$ в горловине до $\lambda_{cp}/4$ в раскрыве рупора, где λ_{cp} -средняя длина волны в рабочем диапазоне частот, глубина поперечных канавок уменьшается по экспоненциальному закону.

При этом поперечные канавки выполнены таким образом, что в сечении рупора плоскостью, проходящей через ось рупора, параллельные стенки поперечных канавок перпендикулярны образующей рупора или параллельны оси рупора.

Предлагаемое устройство работает следующим образом.

Поскольку глубина поперечных канавок плавно уменьшается по экспоненциальному закону от $\lambda_{cp}/2$ до $\lambda_{cp}/4$, вдоль оси рупора происходит постепенное преобразование волны H_{11} в гибридную волну HE_{11} , обеспечивающую осевую симметрию диаграммы направленности, низкий уровень боковых лепестков и кроссполяризации. При этом поверхностная волна не возбуждается, так как глубина поперечных канавок больше $\lambda_{cp}/4$ и поверхностный импеданс имеет емкостной характер. Кроме того, при изменении глубины поперечных канавок по экспоненциальному закону происходит плавное изменение импеданса от горловины и раскрыву, что приводит к улучшению согласования в широкой полосе частот.[18]

5. Тенденции развития микрополосковых антенн

Конструкции микрополосковых антенн также постоянно совершенствуются разработчиками новой техники.

В настоящее время происходит интенсивное становление теории и совершенствование технологии микрополосковых антенн, отличающихся большим разнообразием конструкций и пригодных для применений в качестве как самостоятельных антенн, так и элементов антенных решеток. Освоенный диапазон частот микрополосковых антенн простирается от 300 МГц до 20 ГГц.

Применение наряду с двухпроводными коаксиальными линиями и волноводами полосковых линий передачи привело к созданию специальных полосковых антенн, выполняемых методом печатных схем.

Основным преимуществом подобных антенн является малая масса, простота конструкции, высокая точность изготовления, возможность создания не выступающих конструкций. Существенным недостатком одиночного микрополоскового излучателя является его узкополосность, связанная с резонансным механизмом действия антенны.

6. Расширение рабочей полосы частот.

На расширение рабочей полосы частот направлена конструкция микрополосковой антенны, содержащей металлическую пластину, расположенную на диэлектрической подложке, установленной на плоском металлическом экране, коаксиальную фидерную линию, металлический штырь, подключенный к центральному проводнику коаксиальной фидерной линии, 35 настроечный элемент, причем между настроечным элементом и металлической пластиной расположен диэлектрик, металлический штырь соединен с концом настроечного элемента через отверстие в металлической пластине и изолирован от металлической пластины, причем настроечный элемент выполнен в виде линейного проводника длиной - $\lambda / 4$; где λ — длина волны в полосковой

линии, образованной линейным проводником и металлической пластиной.

При возбуждении металлической пластины коаксиальной фидерной линией с подключенным к центральному проводнику коаксиальной фидерной линии 5 металлическим штырем линейный проводник длиной $\lambda / 4$, играет роль согласующего реактивного сопротивления. При выбранной длине линейного проводника обеспечивается полная компенсация реактивного сопротивления микрополосковой антенны в расширенном диапазоне частот.[19]

Еще одной конструкцией позволяющей решить проблемы расширения полосы частот является микрополосковая антенна эллиптической поляризации содержащая металлическую пластину, расположенную на одной стороне диэлектрической подложки, на другой стороне которой слой металлизации. Форма металлической пластины образована удалением одной четверти прямоугольника, лежащей между его осями и симметрии. Входной коаксиальный кабель присоединен внешним проводником к слою металлизации, а центральным проводником — к металлической пластине в центре прямоугольника на пересечении осей и симметрии.

При подаче напряжения по входному коаксиальному кабелю на металлической пластине возбуждаются два низших ортогональных типа колебаний, Выбором размеров металлической пластины 1, отличающихся на (0,5—5)% от резонансных, достигается сдвиг фазы в 90° между колебаниями двух ортогональных типов. Из-за пониженной добротности это соотношение сохраняется в более широкой полосе частот, чем у микрополосковой антенны с металлической пластиной почти квадратной формы размерами.

Таким образом, обеспечивается расширение рабочего диапазона частот. [20]

Также известна конструкция двухчастотной антенны, позволяющей решить проблему расширения спектра, а также варианты её конструкции. Для этого двухчастотная микрополосковая антенна, которая содержит проводящий экран и расположенные противоположно ему внутреннюю (центральную) излучающую (проводящую) пластину и внешнюю (периферийную) излучающую (проводящую) пластину и систему питания с соответствующими возбуждающими штырями для внутренней и внешней пластинки, причем внутренняя пластинка выполнена в форме круглого диска с набором выступов по краю, а внешняя пластинка выполнена в форме кольца с соответствующим набором выступов на внутренней стороне кольца, при этом соответствующие выступы внутренней пластинки расположены внутри выступов внешней пластинки (один внутри другого), таким образом, соответствующие выступы внутренней пластинки вложены и расположены в пазах, образованных соответствующими выступами внешней пластинки. В выступах внешней пластинки расположены вертикальные проводящие элементы, которые проходят через внешнюю пластинку и гальванически соединяют внешнюю пластинку с упомянутым проводящим экраном, а между экраном и внешней пластинкой по ее внешнему периметру (краю) имеется диэлектрическое заполнение.

Выступы внутренней пластинки расположены в пазах, образованных выступами внешней пластинки таким образом, чтобы имелся определенный зазор между этими выступами. Выступы могут быть выполнены прямоугольной, квадратной, трапецеидальной формы. Вариант данной конструкции является следующее решение: пространство между проводящим экраном и внутренней и внешней пластинкой имеет воздушное заполнение, при этом внутренняя и внешняя пластинка размещены над проводящим экраном посредством диэлектрических проставок, выполняющих роль несущей опоры. Также пространство между проводящим экраном и внутренней и внешней пластинкой может

быть заполнено диэлектриком. Внутренняя и внешняя пластинки выполнены в виде печатной платы и представляют собой проводящий слой, выполненный на несущем диэлектрическом основании. Еще одним вариантом данной конструкции, может быть следующее решение: вдоль внешнего периметра внешней пластинки расположены емкостные элементы. Емкостные элементы представляют собой два набора проводящих штырьков или пластинок, или зубцов. Элементы одного набора соединены с внешней пластинкой, элементы другого набора соединены с экраном, причем каждый элемент одного набора расположен напротив соответствующего элемента другого набора, что обеспечивает определенный зазор между ними.

Данная двухчастотная микрополосковая антенна может работать в режиме линейной поляризации, возбуждаемая соответствующими возбуждающими штырями, подключенными к внешней и внутренней пластинке. Для обеспечения работы в режиме круговой поляризации к возбуждающим штырями должна быть подключена соответствующая схема, обеспечивающая возбуждение электромагнитного поля с необходимыми фазовыми сдвигами.[21]

Расширение рабочего диапазона частот, достигается микрополосковой антенной, излучающий элемент которой расположен на диэлектрической подложке над экраном и состоит из нескольких полуволновых вибраторов, имеющих разные рабочие частоты и запитываемых коаксиальным фидером.

Особенность заключается в том, что плечи полуволновых вибраторов, расположенных на диэлектрическом основании с экраном симметрично, в две противоположные стороны от места запитки, и длины которых возрастают по мере удаления от центра, объединяются двумя собирающими полосками, середина одного из которых соединяется с центральной жилой питающего фидера, а центр второго заземляется. Питающий фидер возбуждает собирающие полоски. В зависимости от

рабочей частоты возбуждается тот или иной вибратор, настроенный на данную частоту. По мере удаления от места запитки собственные резонансные частоты вибраторов уменьшаются. В совокупности вибраторы образуют многорезонансную систему, составные части которой имеют между собой не сильную связь, что обеспечивает достаточно высокий уровень согласования в промежутках между соседними резонансами. Так как из теории антенн известно, что микрополосковые вибраторы являются узкополосными излучающими устройствами, то для обеспечения широкополосного согласования, собственные резонансные частоты вибраторов должны отличаться друг от друга на величину не более 5-10%. Если частоты будут отличаться на большую величину, настройка согласования имеет характер отдельных узкополосных резонансов. Количество вибраторов может быть увеличено, но практически количество пар вибраторов берется не более пяти. Это связано с тем, что по мере удаления от точки запитки происходит затухание электромагнитной волны, и КПД антенны падает. Расстояние между соседними вибраторами не должно быть меньше чем 2-3 ширины отдельно взятого вибратора, для уменьшения влияния их друг на друга.

Данная широкополосная настройка полосковой антенны обеспечивается выбором количества дополнительных микрополосковых вибраторов, их резонансных частот. При использовании до пяти пар вибраторов, микрополосковая антенна может быть настроена в полосе частот с перекрытием примерно 2:1 (полоса частот до 50% при КСВ менее 2).[22]

Также известна МПА линейной поляризации, которая содержит излучатель, выполненный в виде проводящей пластины прямоугольной формы П-образного сечения, размещенной над металлическим экраном посредством диэлектрических стоек, и коаксиальный кабель, центральный проводник которого подключен к излучателю в точке,

лежащей в плоскости симметрии МПА, на расстоянии $(0,03-0,04) \lambda$, где λ - рабочая длина волны, от его центра, а внешний проводник к металлическому экрану. Проводящая пластина П-образного сечения ориентирована боковыми участками к металлическому экрану, а ее средняя часть параллельна металлическому экрану, при этом длина средней части сечения излучателя выбирается в пределах $(\lambda/6 - \lambda/4)$, а полная длина проводящей пластины 1 равна $0,5 \lambda$,

При подаче напряжения на вход коаксиального кабеля на металлической пластине П-образного сечения наводится электрический ток, который обеспечивает электромагнитное излучение в направлении нормали к плоскости металлического экрана, Согласование излучателя с возбуждающим коаксиальным кабелем обеспечивается соответствующим выбором точки подключения .

Отсутствие диэлектрика в пространстве между излучателем и металлическим экраном 2 и выбор величины расстояния между средней частью излучателя и металлическим экраном порядка $0,14 \lambda$ обеспечивает расширение рабочего диапазона частот.[23]

Расширение рабочей полосы частот решается конструкцией микрополосковой щелевой антенны, которая содержит диэлектрическую подложку, на одной стороне которой расположен полосковый проводник, а на другой - металлический экран, в котором выполнены две прямоугольные щели. Полосковый проводник выполнен в виде разомкнутого отрезка и вместе с диэлектрической подложкой и металлическим экраном образует возбуждающую полосковую линию. Прямоугольные щели расположены симметрично относительно плоскости симметрии полоскового проводника 2 и выполнены длиной $1,15 \lambda_e$, где $\lambda_e = \lambda_0/e^{1/2}$ λ_0 - рабочая длина волны; e - относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрической подложки.

Одна прямоугольная щель смещена на расстояние $0,4 \lambda_e$ от разомкнутого конца полоскового проводника, а вторая прямоугольная

щель расположена между первой прямоугольной щелью и разомкнутым концом полоскового проводника.

Высокочастотная энергия, поступающая от генератора через возбуждающую полосковую линию, возбуждает прямоугольные щели. Сдвиг последних на разные расстояния от разомкнутого конца полоскового проводника обуславливает несовпадение их резонансных частот, что приводит к расширению рабочей полосы частот, Максимальный положительный эффект достигается при выборе длин прямоугольных щелей и расстояния от них до разомкнутого конца полоскового проводника согласно формуле $\lambda_e = \lambda_0/\epsilon^{1/2}$. [24]

7. Повышение коэффициента полезного действия.

Повышение коэффициента полезного действия микрополосковых антенн, позволяет решить микрополосковая антенна, содержащая металлический экран, на сторонах которого расположены диэлектрическая подложка и дополнительная диэлектрическая подложка. На свободной поверхности первой диэлектрической подложки расположена прямоугольная металлическая пластина, а на свободной поверхности дополнительной диэлектрической подложки - дополнительная прямоугольная металлическая пластина. Между металлическим экраном и первой узкой стороной прямоугольной металлической пластины включен активный элемент. В металлическом экране выполнена щель, при этом обе металлические пластины расположены симметрично относительно поперечной оси симметрии, а вторая узкая сторона прямоугольной металлической пластины смещена относительно продольной оси симметрии щели.

Микрополосковая активная антенна работает следующим образом.

На активный элемент подается напряжение питания, при выполнении условий самовозбуждения возбуждается объем резонатора

автогенератора, заключенный между прямоугольной металлической пластиной и металлическим экраном, который возбуждает щель, а она, в свою очередь, возбуждает излучатель, которым является дополнительная прямоугольная, металлическая пластина.

Микрополосковая активная антенна имеет два самостоятельных резонатора, каждый из которых удовлетворяет необходимым требованиям генерации и излучения. Стабильность генерируемой частоты зависит от добротности резонатора автогенератора, поэтому для повышения добротности диэлектрическая подложка выбирается с высокой диэлектрической проницаемостью

($\epsilon \sim 10$), малым тангенсом потерь ($\text{tg } \delta \sim 10^{-3}$) и малой толщиной ($d \ll 0,01 \lambda$). Размеры прямоугольной металлической пластины выбираются таким образом, чтобы длина ее узкой стороны была существенно меньше длины широкой стороны. Такой выбор размеров металлической пластины ведет к повышению добротности резонатора и снижает возможность генерации колебаний с ортогональной поляризацией. Длина прямоугольной металлической пластины близка к $\lambda/4$ и зависит от характера реактивной составляющей сопротивления активного элемента.

К излучателю предъявляются следующие требования - большие эффективность излучения и полоса пропускания. Для этого дополнительная диэлектрическая подложка выбирается с малой диэлектрической проницаемостью ($\ll 2,8$) и большей толщиной ($> 0,01 \lambda$). Для дополнительной металлической пластины наилучшие характеристики соответствуют длине сторон, параллельных продольной оси симметрии щели, близкой λ .

Положение щели относительно сторон дополнительной металлической пластины, параллельных продольной оси симметрии щели, с высокой точностью определяет выходное сопротивление. Расширение полосы и обеспечение совпадения частоты генерации и

средней частоты полосы пропускания уменьшает искажение излучаемого сигнала.[25]

Сущность следующей конструкции антенны, позволяющей повысить КПД, заключается в том, что антенна выполнена на микрополосковой линии, с одной стороны которой сформирована возбуждающая структура. Вторая сторона является заземляющим проводником. Возбуждающая структура в виде отрезка линии, последовательно возбуждает две ортогональные щели. Щели расположены на заземляющем проводнике взаимоперпендикулярно по смежным сторонам квадрата. Сторона квадрата равна половине длины волны. Точки возбуждения щелей разнесены на четверть длины волны для обеспечения фазового сдвига и формирования излучения с круговой поляризацией.

Над щелями через два слоя диэлектрика располагается наиболее часто используемый в микрополосковых антеннах излучатель квадратной формы, сторона которого выбрана равной половине длины волны. Второй слой диэлектрика имеет диэлектрическую постоянную, в два раза больше диэлектрической постоянной первого слоя диэлектрика. Выполнение возбуждающей структуры в виде отрезка линии сокращает потери и обеспечивает повышение коэффициента полезного действия.

Размещение полуволнового квадратного излучателя через два слоя диэлектрика с указанным соотношением диэлектрических постоянных позволяет обеспечить возбуждение поля в слое первого диэлектрика и предотвратить рассеяние поля излучения за счет более высокой диэлектрической постоянной второго слоя диэлектрика в зоне полуволнового квадратного излучателя. Взаимодействие полей щелевых возбуждателей и квадратного излучателя в зоне двухслойного диэлектрика антенны снижает потери на излучение и повышает коэффициент полезного действия антенны.[26]

Выводы к главе II

В главе рассмотрены основные задачи стоявшие перед разработчиками антенн, такие как: расширения рабочей полосы частот, уменьшение габаритных размеров антенны, уменьшение бокового излучения, повышение коэффициента полезного действия. Так же были приведены уже известные методы решения указанных задач, приведенных выше.

Глава III. Разработка рупорно-микророскопической антенны

На основе обзора тенденций развития антенн выявлено, что в настоящее время является актуальной задача создания компактных направленных антенн для приема и передачи сигналов в сетях связи с макро- и микросотовой структурой, использующих следующие полосы частот: 470-490 МГц, 810-1000 МГц и 1690-2400). Еще большую сложность представляет разработка компактной направленной сверхширокополосной антенны, обеспечивающей эффективный прием и передачу сигналов одновременно во всех названных поддиапазонах частот.

Поставленная задача решается за счет создания антенны, объединяющей положительные качества двух различных типов антенн: микророскопической антенны и рупора. Излучатель микророскопической антенны сконструирован в виде равнобедренного треугольника с добавлением симметрично выступающих полосковых элементов. Комбинация рупора коробчатого типа в виде прямого цилиндра с прямоугольным сечением и излучателя названной формы в совокупности с шунтом позволяет получить оптимальное распределение электромагнитного поля по апертуре антенны в трех поддиапазонах частот: 470-490 МГц, 850-1000 МГц и 1700-2100 МГц.

1. Характеристика программы Ansoft HFSS.

HFSS (High Frequency Structure Simulator, рус. Симулятор высокочастотных структур) - это промышленный пакет программ для трехмерного электромагнитного моделирования, предназначенный в первую очередь для разработки высокочастотных и высокоскоростных компонентов. HFSS использует множество новейших вычислительных

технологий. HFSS реализует мощь метода конечных элементов (finite element method FEM), используя методы типа автоматического адаптивного генерирования и деления ячеек, метод конечных элементов для векторов поля и адаптивную развертку (Adaptive Lanczos Pade Sweep, ALPS). HFSS автоматически вычисляет кратные адаптивные решения до определяемого пользователем критерия сходимости. Встроенный блок черчения пространственных моделей ACIS, в программе HFSS 100% совместим с AutoCAD.

Системы связи и локации используют средства излучения/приема электромагнитной энергии, ее пространственной канализации и преобразования. При проектировании антенн и их систем с помощью программного продукта ANSYS HFSS имеется возможность провести сквозной анализ изделий для получения антенных параметров, как например, диаграмм направленности, КУ, КСВ и т.д. Так же, имеется возможность визуализации полей в дальней и ближней зонах, распределений токов по излучающим элементам, визуализация векторов потока мощности и коэффициентов объемного удельного поглощения. Инженер может более эффективно провести анализ отдельной антенны, так и их систем. Проектировщикам планарных излучающих систем предоставляет на выбор два решателя: HFSS и PlanarEM.

Процесс проектирования с помощью HFSS включает в себя ряд стандартных шагов:

1. Создание модели анализируемой структуры, в том числе:
 - создание трехмерной графической модели структуры (чертежа);
 - задание параметров материалов, из которых состоит структура.
2. Определение электродинамических параметров структуры, включающее:
 - задание граничных условий на поверхностях, формирующих анализируемый объект;
 - задание параметров решения.

3. Электродинамический анализ исследуемого объекта, в том числе:

- анализ объекта в полосе частот;
- параметрический анализ объекта;
- параметрическая оптимизация объекта.

4. Визуализация результатов электродинамического анализа, включающая:

- построение графиков в декартовых, полярных координатах, диаграмм направленности и т.д.;
- анимация распределений электромагнитного поля и электрического тока;
- сохранение результатов анализа в файлах данных. [31]

2. Разработка рупорно-микроросковой антенны в программе HFSS

Первым этапом разработки рупорно-микроросковой антенны в программе HFSS является черчение модели.

Общая стратегия черчения модели структуры состоит в том, чтобы сформировать модель как объединение трехмерных объектов. Каждый объект задается со своими свойствами: материалом, потерями и обрабатывается как отдельный. Модель может включать только поверхности, на которых будут заданы граничные условия.

Трехмерные объекты можно создать, используя команды создания трехмерных объектов, а можно начертить одномерные и двумерные объекты, и затем манипулировать ими, чтобы создать трехмерные объекты.

На рис. 3.1. представлена пластина резонатора рупорно-микроросковой антенны. Так как пластина резонатора представляет собой хоть и двухмерный, но сложной формы объект, то имеется две возможности черчения данного объекта:

1) черчение всей поверхности линией, с последующем объединением в двумерную фигуру.

2) создание путем объединения в одну нескольких фигур.

Следующем этапе построения рупорно-микроросковой антенны является черчение рупора. Который чертится путем объединения четырех прямоугольников вокруг пластины резонатора (рис. 3.2 а, б).

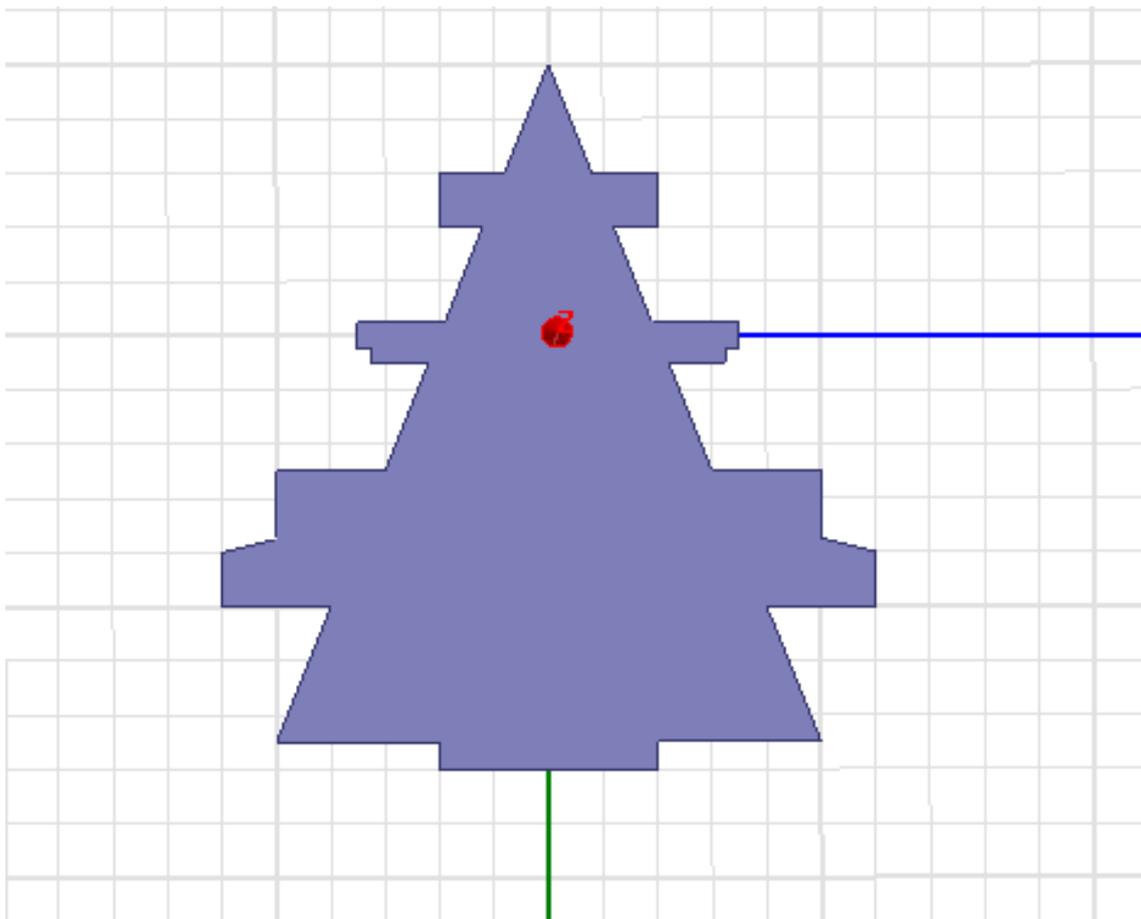


Рис. 3.1. Пластина резонатора рупорно-микроросковой антенны.

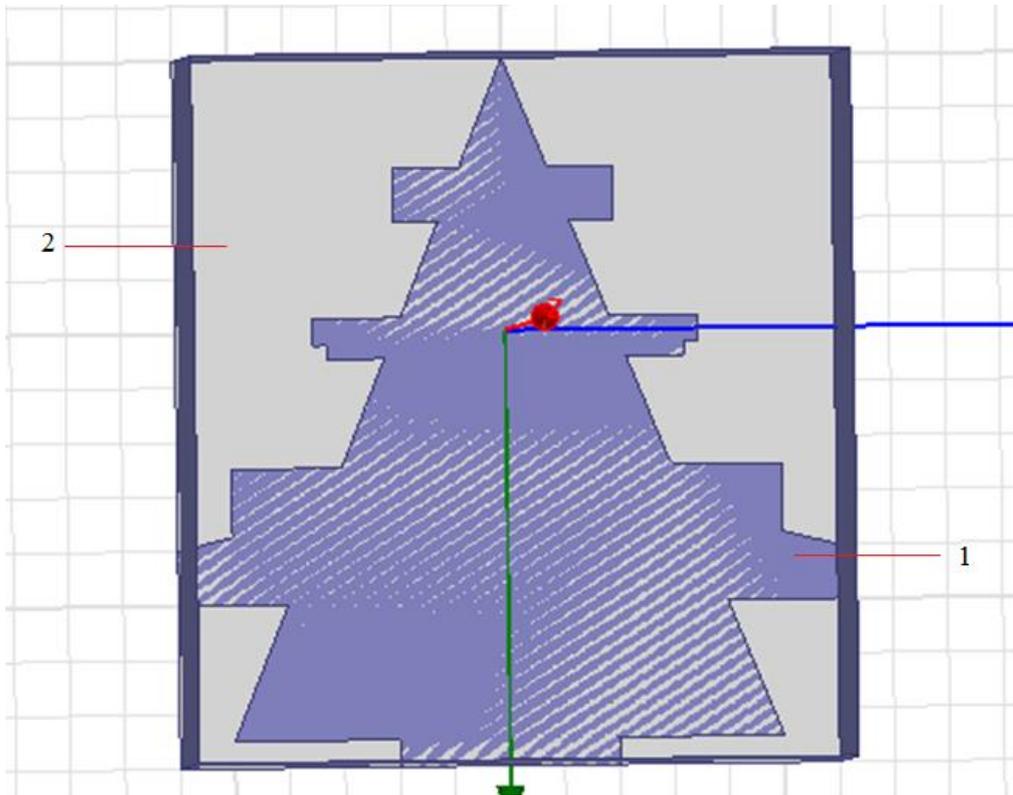


Рис. 3.2а. Рупорно-микророскоковая антенна.

1- резонатор, 2- рупор

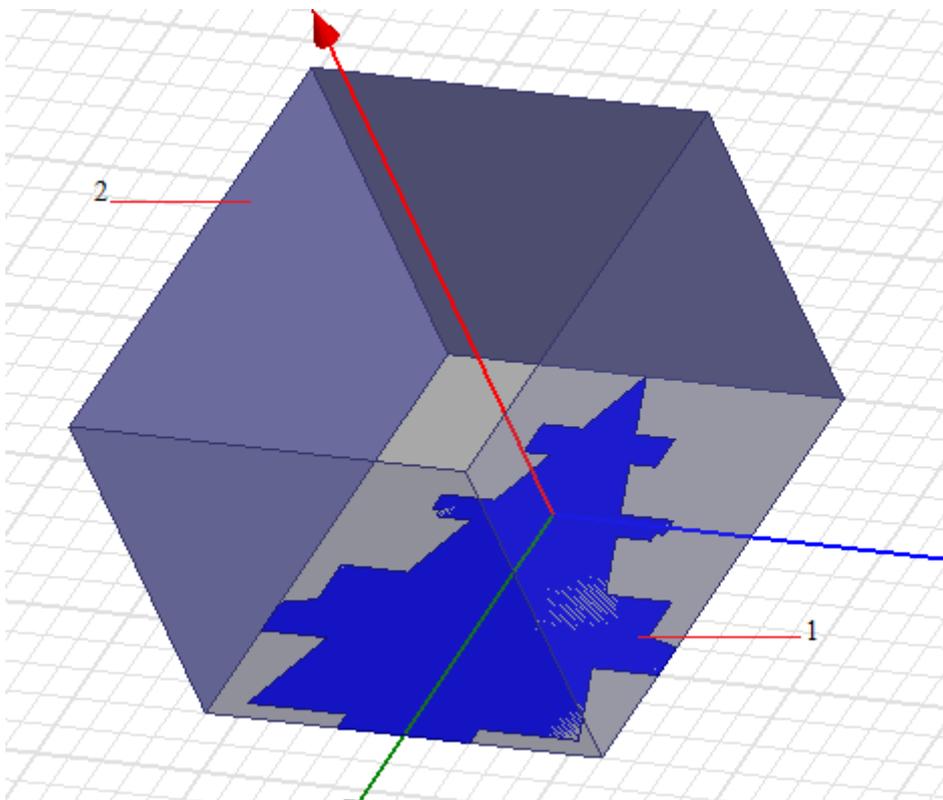


Рис. 3.2б. Рупорно-микророскоковая антенна.

1- резонатор, 2- рупор

На рис. 3.3. представлены габаритные размеры пластины резонатора.

После черчения конструкции, каждому объекту, или части его, необходимо придать материальные характеристики, т.е. задать диэлектрическую и магнитную проницаемость, потери и другие свойства. Это выполняется менеджером материалов, который позволяет использовать материалы из существующей базы данных материалов, а также создавать новые материалы с заданными характеристиками.

Менеджер материалов позволяет выбрать материал из базы данных или ввести новый материал. При этом параметры материала могут быть заданы в виде фиксированных чисел или в виде математических соотношений с помощью встроенных функций.

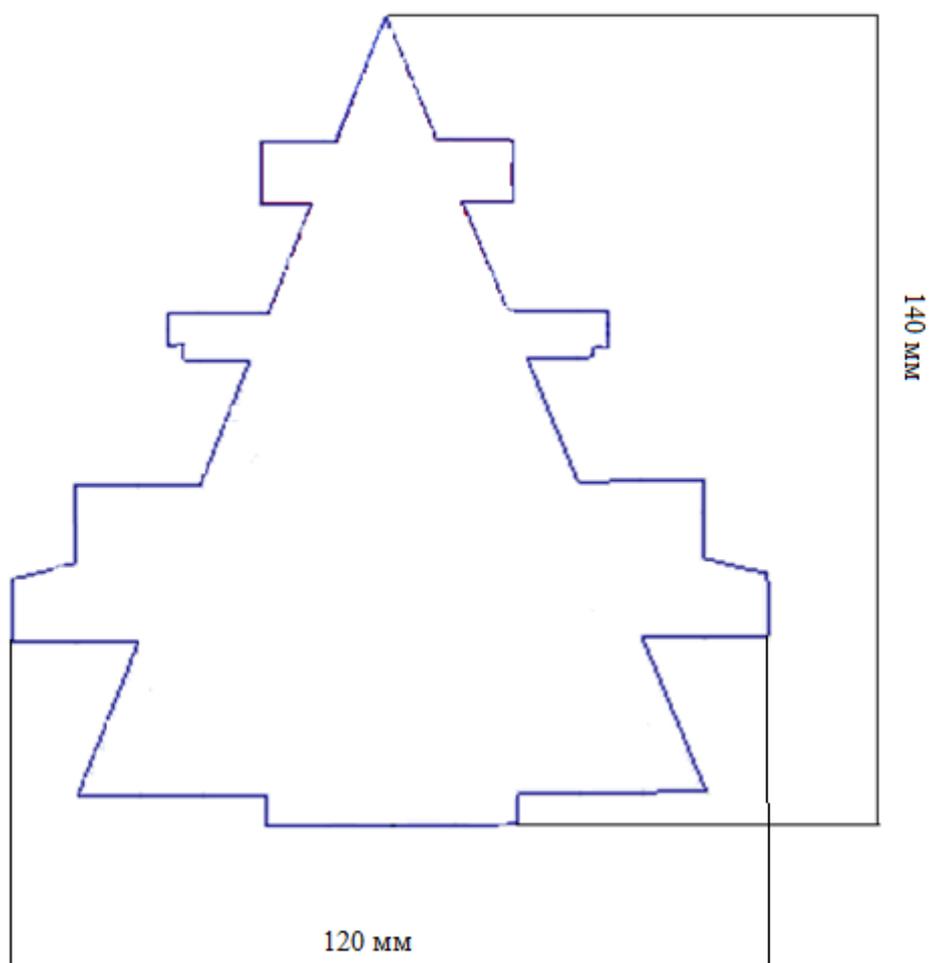


Рис. 3.3. габаритные размеры пластины резонатора.

При моделировании данной антенны была выбрана медь, в качестве основного материала конструкции.

Следующим этапом в проектировании является задание границ излучения. Граница излучения используется, чтобы решить открытую задачу, в которой волны излучаются бесконечно далеко в пространство, например при анализе антенн. HFSS поглощает волну на границе излучения, по существу на сферической границе, расположенной бесконечно далеко от структуры.

Поверхность излучения может быть не сферической, но она должна быть выпуклой по отношению земляной поверхности, выпуклой по отношению к источнику излучения, и находиться, по крайней мере, на четверть длины волны от источника излучения. В некоторых случаях граница излучения может быть ближе, чем четверть длины волны, например для части границы излучения, где ожидается небольшое излучение.

Дальнейшим этапом в разработке конструкции антенны в программе HFSS является установка типа решения.

Типы решений в HFSS.

Если установлен метод решения Driven Modal, то HFSS вычисляет многомодовые S-параметры пассивных СВЧ структур типа микрополосковых линий, волноводов, и других линий передачи.

Решение для S-матрицы будет выражены в терминах падающих и отраженных мощностей волноводных мод.

Подпрограмма «Driven Solution» в Ansoft HFSS решает следующее матричное уравнение (для случая без потерь):

$$Sx + k_o^2Tx = b \quad (3.1)$$

где:

S и T - матрицы, которые зависят от геометрии и разбиения.

x – волновое решение электрического поля.

k_o – волновое число свободного пространства.

b - величина источника, определенного для задачи.

Тип решения Driven Terminal выбирается, если необходимо, чтобы HFSS вычислил нормированные S-параметры многопортовой структуры, подключенной к нагрузкам. S-матрица будет выражаться в терминах напряжений на клеммах и токов.

Метод Eigenmode предназначен, чтобы рассчитать собственные типы волн, или резонансы структуры. Решающее устройство Eigenmode находит резонансные частоты структуры и полей в виде резонансных частот. Решающее устройство Eigenmode может находить собственные моды структур без потерь, структур с потерями, и может вычислять добротность резонатора.

Добротность - мера того, сколько энергии теряется в системе. Поскольку порты и другие источники отсутствуют в задачах, решаемых методом Eigenmode, расчет добротности не включает потери в этих элементах.

Чтобы найти резонансы структуры, решающее устройство «Eigenmode» устанавливает в $b = 0$ и решает уравнение:

$$Sx + k_o^2Tx = 0 \quad (3.2)$$

для определения (k_o, x) , где ищется одно значение k_o для каждого x .

Переменная x - решение электрического поля, и k_o – волновое число свободного пространства, соответствующее этому типу волны. Волновое число k_o связано с частотой резонансных мод следующим выражением:

$$f = \frac{k_o c}{2\pi} \quad (3.3)$$

где c – скорость света.

Чтобы вычислить S -матрицу конструкции с портами, HFSS выполняет следующее:

- Делит структуру на ячейки.
- Вычисляет типы волн в каждом порте, которые подключаются к волноводу, имеющему такое же сечение, как порт.
- Вычисляет все типы волн поля внутри структуры, считая, что один тип волн возбужден одновременно.
- Вычисляет обобщенную S -матрицу по величинам отражения и передачи.

Результирующая S -матрица позволяет рассчитать модули падающих и отраженных сигналов непосредственно из данного набора входных сигналов, приводя полное трехмерное электромагнитное характеристику структуры к набору S -параметров структуры.

Процесс генерирования сетки разбиения состоит из следующих шагов:

1. HFSS генерирует начальную сеть, которая включает установки аппроксимации поверхности.
2. Если требуется уплотнение сетки разбиения на основе длины волны (λ refinement), HFSS выполняет это, используя рассчитанную в материале длину волны.
3. Задается режим разбиения, и степень уплотнения сетки.
4. Если заданы порты, HFSS итерационно совершенствует двумерную сетку в портах.
5. Используя полученную сетку разбиения, HFSS вычисляет методом конечных элементов электромагнитные поля, которые существуют внутри структуры, когда они возбуждаются на частоте решения. Тетраэдры в этом режиме имеют меньшие размеры.
6. HFSS генерирует другое решение, используя уплотненную сетку.

7. HFSS повторно вычисляет ошибку, и итеративный процесс (решение — анализ ошибок — адаптивное усовершенствование) повторяется, пока критерии сходимости не удовлетворены или не выполнено максимальное число адаптивных проходов.

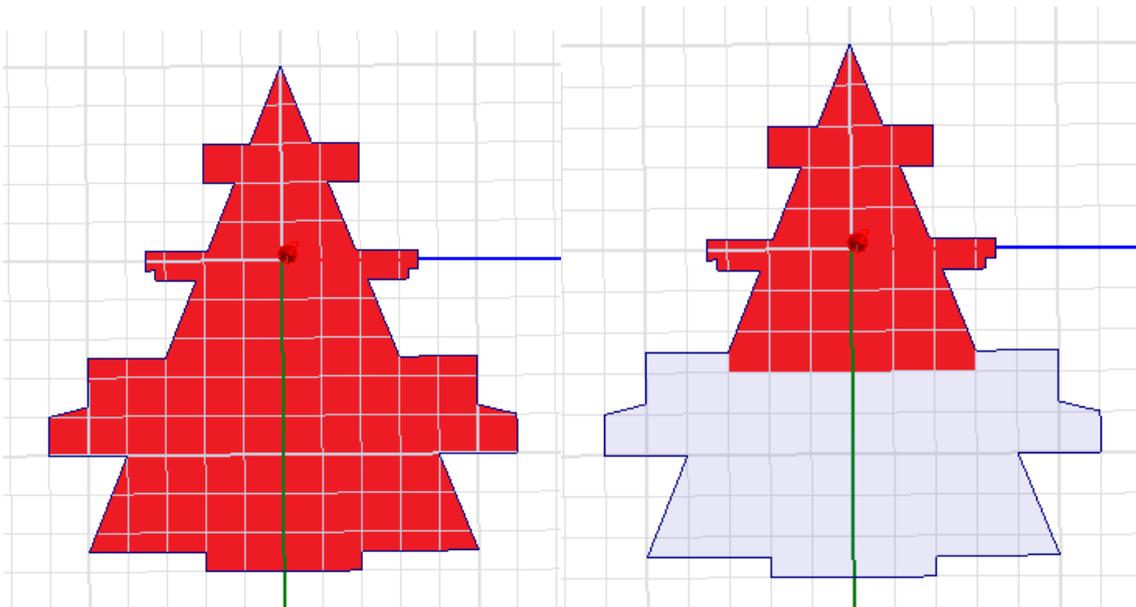
8. Если задается расчет в диапазоне частот, то HFSS решает задачу на других частотах без дальнейшего уплотнения сетки разбиения. Адаптивное решение выполняется только на указанной частоте решения.

HFSS различает область решения задачи и область разбиения. Область задачи – это область, в которой получается решение, и сетка уплотняется. Область разбиения, которая включает область решения задачи, является областью, в которой генерируется начальная сетка разбиения. После того, как начальная сетка сгенерирована, сеть уплотняется только в области решения задачи.

Область задачи охватывает пространство, достаточно большое, чтобы включить всю конструкцию, но не больше. HFSS автоматически определяет область задачи во время решения.

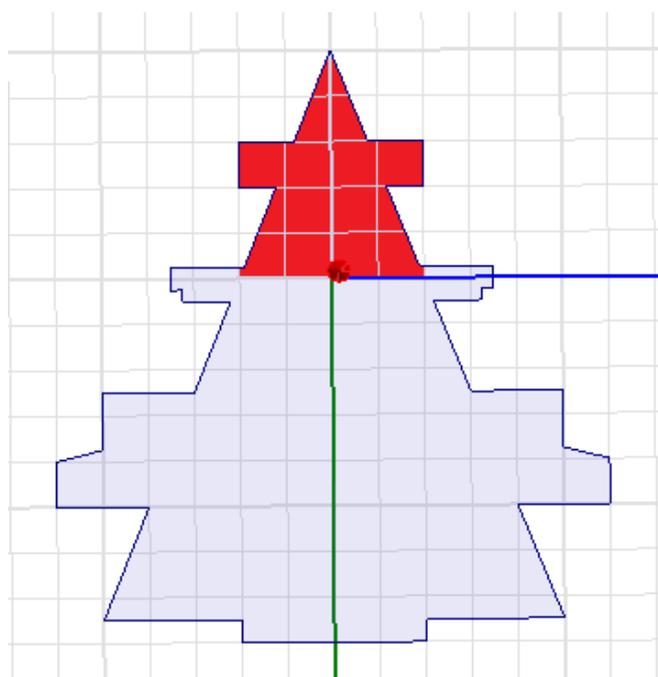
После проведения программой расчета заданной антенны (процессорный этап), выполняется расчет всевозможных характеристик устройства (постпроцессорная обработка данных).

В результате процессорной обработки данных, и вывода данных выявлено, что данная антенна работает в полосах 450-470 МГц, 810-1000 МГц и 1690-2100 МГц. На рис 3.4 представлены площадь апертуры резонатора для каждого из поддиапазона частот.



а)

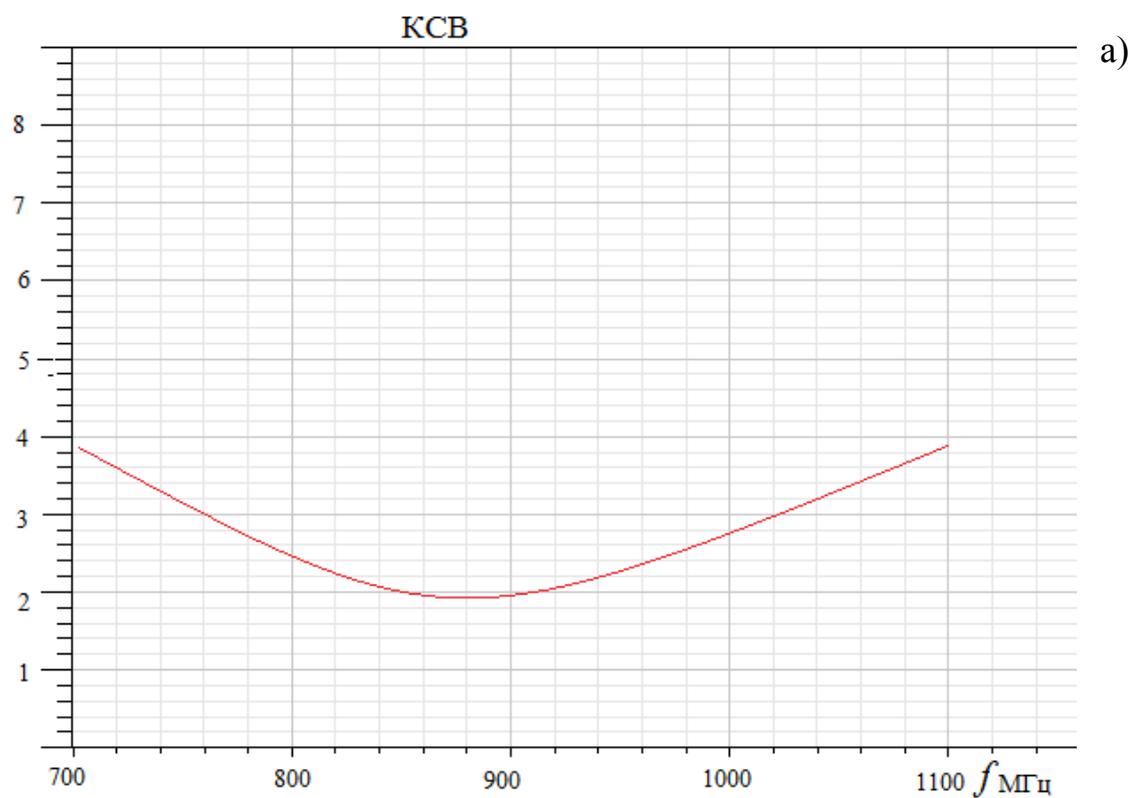
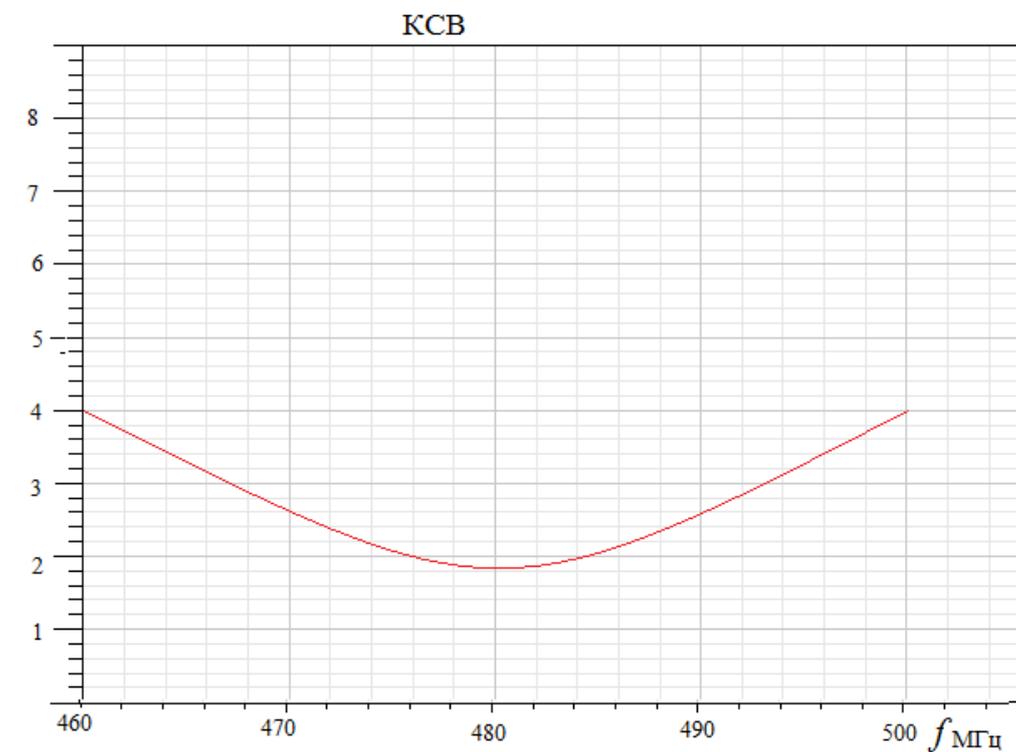
б)



в)

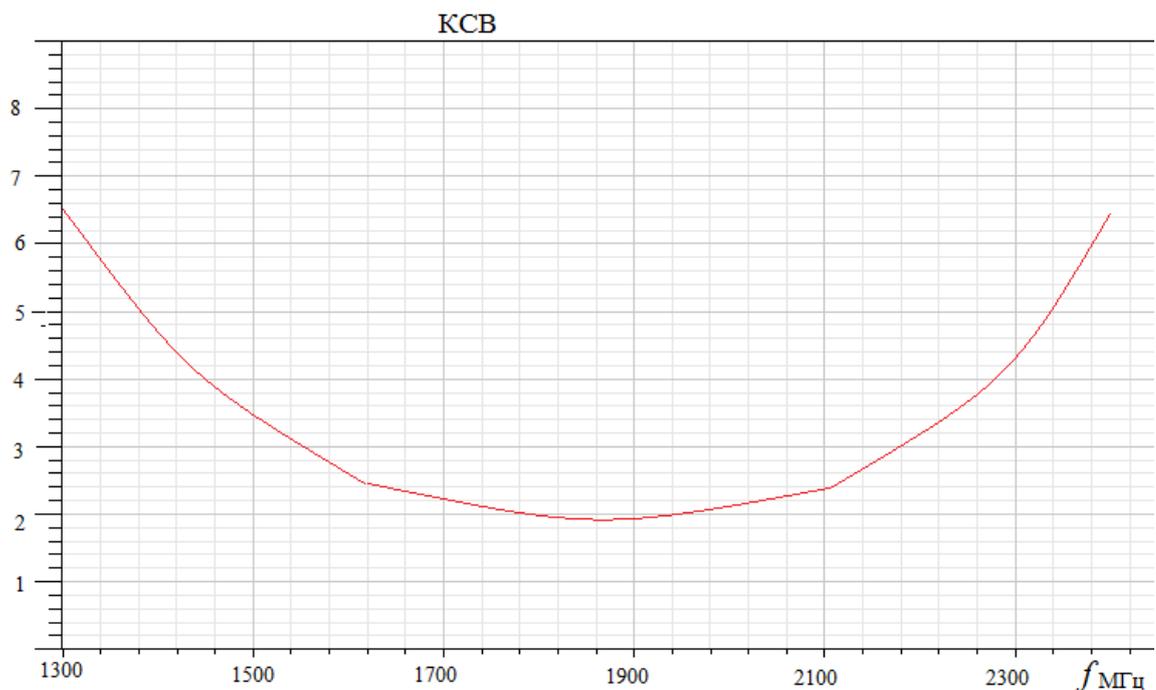
Рис. 3.4. Площадь поверхности резонатора используемая в а) 450-470 МГц, б) 810-1000 МГц, в) 1690-2400 МГц, полосах частот.

В программе HFSS имеется возможность выводить графики КСВ в зависимости от используемой антенной частоты рис. 3.5.



a)

б)



в)

Рис. 3.5. Значения КСВ в полосах частота) 450-470 МГц, б) 810-1000 МГц, в) 1690-2400 МГц, полосах частот

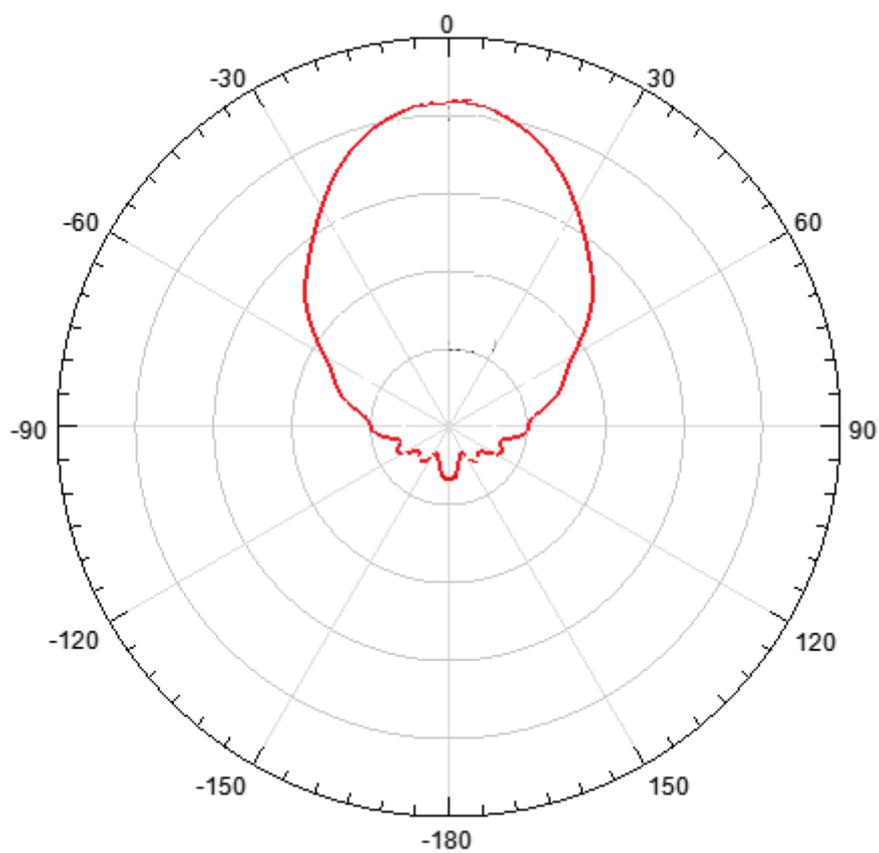
Для расчета поля излучения, и диаграммы направленности, HFSS вычисляет значения полей по поверхности излучения в пространстве, окружающем устройство. Исследуемое пространство обычно разбивается на две области — ближняя зона и дальняя зона. Чтобы рассчитать параметры антенны, нужно создать сферическую поверхность в дальней зоне, задавая ее размер и шаг изменения углов ϕ и θ . Этим задаются направления, по которым будут рассчитываться излучаемые поля. После задания поверхности излучения, HFSS вычислит диаграмму направленности излучения антенны и параметры антенны.

При создании графиков диаграммы направленности в HFSS имеется возможность представления в двухмерном и трехмерном пространстве.

На рис. 3.6. представлены графики диаграммы направленности рупорно-микроросковой антенны.

Коэффициент усиления в диапазоне 470-490 МГц составляет 6 dBi, в диапазоне 810-1000 МГц 7dBi, в диапазоне 1690-2100 МГц 10 dBi.

а)



б)

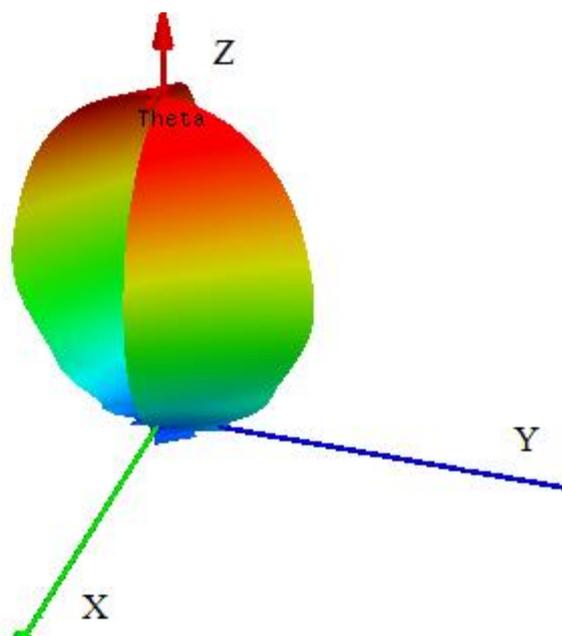


Рис. 3.6. Диаграмма направленности рупорно-микрополосковой антенны а) в двухмерной системе координат, б) в трехмерной системе координат

3. Применение широкополосной рупорно-микрополосковой антенны.

Регламент радиосвязи предусматривает разделение мира на три района в части распределения частот. В Район 1 входят страны СНГ, Монголия, Африка, Европа, часть Азии. В Район 2 – весь Американский континент и Гренландия; в Район 3 – Австралия, Океания и та часть Азиатского континента, которая не вошла в район 1. [32]

Антенно-фидерный тракт базовых станций (БС) сотовых сетей является важнейшим элементом сетевой инфраструктуры, от которого во многом зависит качество связи. В свою очередь, антенны, как ключевой элемент этого тракта, практически определяют качество покрытия, которое все больше становится одним из основных маркетинговых аргументов в конкурентной борьбе операторов сотовой связи. В этой связи, представляет интерес обзор антенн для БС, поставляемых на рынок ведущими западными компаниями-производителями антенно-фидерных устройств (АФУ). Современные антенны БС, при внешней простоте конструкции, представляют собой достаточно сложные СВЧ-устройства, работающие на открытом воздухе в условиях повышенной влажности и существенных перепадов температур, подверженные обледенению, повышенным ветровым нагрузкам, агрессивному воздействию городского смога. В этих условиях, обеспечение стабильности основных электрических параметров и механических свойств антенн в течение всего срока их службы представляет собой достаточно сложную инженерную задачу, решить которую под силу только компаниям,

имеющим в своем арсенале самые современные технологии производства СВЧ-оборудования и контроля его качества, а также высококачественные конструкционные материалы, обеспечивающие высокую надежность и долговечность антенн, достигающую, как показывает практика, 10 и более лет.

Основные типы антенн БС, используемые в сетях GSM

Ведущие мировые производители АФУ предлагают сегодня антенны БС для любых стандартов и частотных диапазонов, в том числе и для действующих в настоящее время в Республики Узбекистан сетей GSM900, GSM1800, и.т.д. Данный обзор посвящен антеннам БС наиболее распространенного в Республики Узбекистан стандарта GSM, а также антеннам стандарта 3-го поколения (UMTS), сети которого будут, как правило, базироваться на действующих сетях GSM.

Эти антенны работают в диапазонах 900 МГц, 1800 МГц, 1710-2170 МГц как на открытом воздухе (outdoor), так и в закрытых помещениях (indoor). В зависимости от решаемой задачи по организации покрытия проектировщики сетей используют всенаправленные (omni) и секторные антенны с вертикальной поляризацией (Vpol) или с наклонной кросс-поляризацией (Xpol). Они могут быть однодиапазонные и двухдиапазонные, трехдиапазонные и широкополосные.

Антенны с вертикальной поляризацией Vpol для сетей GSM поставляются в outdoor и в indoor- исполнении. Они бывают как секторные, так и всенаправленные и используются там, где организация разнесенного приема с помощью Xpol антенн менее эффективна, т.е., в основном, для организации покрытия в условиях сельской местности и в пригородах, а также внутри помещений, где разнесенный прием, как правило, не используется. Кроме того, применение Vpol антенн может быть обусловлено спецификой организации покрытия в зонах действия радиосредств спецназначения, ограничивающих возможности использования антенн XPol. В таких случаях эффективным решением

может быть использование комбинированных антенн Xpol/VPOI, использующих Xpol антенну для разнесенного приема, а Vpol антенну в качестве передающей.

Секторные антенны Vpol представляют собой совокупность излучателей, расположенных в прочном радиопрозрачном герметичном корпусе, защищающем их от внешней среды и механических воздействий. Все излучатели объединены общей системой подводки к ним излучаемой мощности. Для ограничения уровня мощности, излучаемого антеннами в направлении горизонта, и обеспечения более равномерного покрытия антенны выпускают с некоторым электрическим наклоном диаграммы направленности (ДН), обеспечиваемым с помощью специального фазирования вибраторов (антенны EDT – Electrical Down Tilt). В секторных антеннах этот наклон может обеспечиваться также механически, с помощью поставляемого дополнительно специального узла наклона. Электрический наклон ДН может быть фиксированным (устанавливаемым в заводских условиях) и регулируемым (AEDT – Adjustable Electrical Down Tilt). В последнем случае настройка наклона ДН производится пользователем с помощью специального устройства, управляющего фазированием излучателей. Преимуществом электрического наклона перед механическим является отсутствие искажения формы ДН в горизонтальной плоскости и азимутальной зависимости угла наклона и коэффициента усиления антенны.

Секторные антенны выпускаются компаниями в широком ассортименте коэффициентов усиления (от 6,5 до 22 dBi) и значений ширины ДН в горизонтальной плоскости (65-160 градусов), для диапазонов частот от 800 до 2170 МГц, что позволяет проектировщикам формировать сети любой нужной конфигурации. Габаритные размеры антенн варьируются в пределах от 10 см до 2,5-3 метров,

вес антенн может составлять от 300 грамм до 20 кг. Большим спросом пользуются легкие плоские панельные антенны, которые можно

монтировать даже на стенах зданий. Максимальная подводимая мощность составляет от 350 до 1000 Вт, однако в большинстве случаев при проектировании сетей такая мощность не требуется. Обычно, подводимая к антеннам мощность составляет не более 100-150 Вт, а для антенн indoor не более 10 Вт.

Логопериодические антенны Vpol характеризуются относительно малой шириной ДН в горизонтальной плоскости (22-65 градусов), имеют коэффициент усиления от 11-18 dBi и используются, в основном, для организации связи вдоль дорог. Всенаправленные антенны с вертикальной поляризацией (Vpol omni) представляют собой цепочку запитываемых синфазно полуволновых вибраторов внутри корпуса, имеющего вид трубки. Некоторые модели предлагаются с углами электрического наклона в диапазоне от 0 до 6 градусов. Антенны omni (outdoor) выпускаются как однодиапазонные для диапазонов частот 900 МГц, 1800 МГц, 1710-2170 МГц, так и двухдиапазонные для диапазонов частот 900/1800 МГц, 900/1920-2170 МГц. Длина всенаправленных антенн определяет их ширину ДН в вертикальной плоскости и, соответственно, коэффициент усиления, который составляет от 2 до 11 dBi для однодиапазонных антенн и 2 dBi для двухдиапазонных антенн. Уровень допустимой подводимой мощности всенаправленных антенн варьируется от 60 до 500 Вт. Такие антенны используются операторами при необходимости организации покрытия в компактных зонах обслуживания с трафиком, локализованным вокруг БС, например, в коттеджных поселках, где установка секторных БС экономически нецелесообразна в условиях небольшого трафика. Другим примером использования антенн omni может быть их установка в городских условиях при организации микросот. Антенны с вертикальной поляризацией для использования внутри зданий (Vpol indoor) выпускаются как однодиапазонные для диапазонов частот 900 МГц, 1800 МГц, 1710-2170 МГц, так и двухдиапазонные антенны для диапазонов

900/1800 МГц, 900/1710-2170 МГц, а также широкополосные, перекрывающие диапазон от 800 МГц до 2500 МГц. Они могут быть как секторные, так и всенаправленные, имеют небольшие размеры и эстетичный внешний вид (форму «шляпы») и выпускаются, как правило, в потолочном исполнении для организации покрытия внутри помещений. Небольшие размеры антенн indoor определяют ширину ДН, которая может достигать 70-80 градусов в обеих плоскостях и коэффициент усиления в 5-7 dBi. Всенаправленные антенны indoor имеют коэффициент усиления 2 dBi. Предлагаются также двунаправленные антенны indoor-outdoor с шириной ДН 65 градусов и формой ДН, имеющей вид «восьмерки».

Антенны с наклонной кросс-поляризацией представляют собой, в отличие от антенн с вертикальной поляризацией со строго вертикальным расположением излучателей, совокупность излучателей, симметрично расположенных вдоль вертикальной оси антенны и наклоненных к ней под углом +/- 45 градусов. В одном корпусе такой антенны могут располагаться две (Xpol), четыре (XXPol), и даже шесть (XXXPol) независимых антенн. Каждая пара антенн с кросс-поляризацией обслуживает один из рабочих диапазонов - 900 МГц, 1800 МГц, или 1710-2170 МГц. Такая конструкция антенн упрощает их размещение (на крышах домов, башнях, стенах зданий), что особенно важно в условиях дефицита места, а также позволяет снизить затраты на аренду площади. Некоторые такие многодиапазонные антенны имеют встроенные фильтры, позволяющие обеспечить их работу всего через 2 разъема. Симметричное расположение систем излучателей относительно оси антенны гарантирует симметричность и идентичность ДН в горизонтальной плоскости. Очень важно, что ДН полностью ортогональны друг другу, а требуемая поляризационная развязка между двумя антеннами и коэффициент кросс-поляризации сохраняются в заданном секторе азимутальных углов и обеспечивают условия для

эффективного разнесенного приема. Однодиапазонные антенны с кросс-поляризацией выпускаются для диапазонов частот 900 МГц, 1800 МГц, 1710-2170 МГц, Ширина ДН в горизонтальной плоскости составляет у них 65 и 90 градусов, коэффициент усиления колеблется от 5 до 22 dBi. Двухдиапазонные антенны XXPol выпускаются для диапазонов частот 900/1800 МГц, 900/1710-2170 МГц, 1710-2170/1710-2170, их коэффициент усиления составляет от 12 до 19 dBi. Строенные антенны XXXPol (900/1710-2170/1710-2170 МГц) предполагают их совместное использование в сетях GSM900/1800 и UMTS. Группа излучателей, обеспечивающая работу антенны в сетях UMTS, имеет, как правило, более высокий, по сравнению с антеннами GSM, коэффициент усиления (18-22 dBi) и, соответственно, более узкую ДН в вертикальной плоскости для компенсации высоких потерь при распространении сигналов UMTS. Трехдиапазонные антенны, работающие сразу в нескольких диапазонах, имеют независимые системы электрической регулировки угла наклона ДН для каждого из диапазонов, что обеспечивает необходимую гибкость при оптимизации сетей.

Конструктивные особенности антенн БС для сетей GSM

Конструкция антенн БС играет исключительно важную роль в обеспечении стабильности основных электрических параметров антенн при их эксплуатации в сложных климатических условиях. Используемые компаниями современные прецизионные технологии изготовления элементов антенн (рефлекторов, системы излучателей и схем их запитки, корпуса антенны) и способов их соединения (минимизация числа внутренних соединений), позволяют обеспечить высокую повторяемость параметров в условиях серийного производства. Уровень интермодуляционных искажений современных антенн составляет не более -150 dBc.

При производстве антенн одни компании (Kathrein) предпочитают, в основном, традиционную дипольную конструкцию излучателей (в

качестве излучателей используются диполи из металлических проводников - латунь, алюминий) и кабельную схему подводки мощности с помощью отрезков полужесткого кабеля. Компания LGP Allgon использует в ряде антенн также щелевые (печатные) излучатели, мощность к которым подводится с помощью микрополосковых линий. Это позволяет, по заявлению производителей, уменьшить потери, увеличить коэффициент усиления антенны, упрощает процесс изготовления и обеспечивает лучшую воспроизводимость электрических параметров при серийном производстве антенн. Как видно, и та и другая технологии имеют определенные преимущества, которые компании используют при совершенствовании конструкции антенн.

Среди новых конструктивных решений можно отметить выпускаемые в последние годы модели антенн с асимметричной ДН. В этих антеннах, для уменьшения паразитного излучения в горизонтальном направлении, четко выражен провал между 1-м верхним боковым и главным лепестками ДН, а также сглажены провалы нижних боковых лепестков с целью обеспечения лучшего покрытия непосредственно под антенной.

Еще более впечатляющим примером прогресса в области создания современных антенн БС являются антенны с возможностью дистанционного изменения угла электрического наклона ДН (антенны RET – Remote Electrical Down Tilt). Такие антенны имеют специальный блок дистанционного управления с высокоточным шаговым электродвигателем, соединенным с приводом, управляющим установленными в корпусе антенны фазовращателями, что позволяет подстраивать электрический наклон ДН без выезда специалистов на место установки антенны. Антенны RET будут особенно востребованы при развертывании сетей GSM/UMTS, где организация совместной работы двух стандартов становится возможной только с помощью ручной подстройки углов электрического наклона.

При развертывании сетей UMTS операторы, поставленные в условия обеспечения быстрого запуска сетей в соответствии с выделенным объемом финансирования, сталкиваются с рядом организационных и технических проблем.

Основные из них – совместимость с имеющейся инфраструктурой и действующей в сети системой управления, обеспечение требуемого качества покрытия для предоставления услуг UMTS в полном объеме, удобство инсталляции и технического обслуживания, возможность дистанционного мониторинга основных параметров, эстетичный внешний вид, обеспечение надежности и долговечности.

Совместимость с инфраструктурой GSM

Эта проблема вызвана растущей сложностью поиска новых сайтов в связи с дефицитом подходящих свободных зданий и сооружений, получением необходимых частотных разрешений, согласованием площадок с местными органами власти и жителями. Операторы, естественно, стремятся максимально использовать имеющуюся сетевую инфраструктуру, размещая узлы сети UMTS на действующих базовых станциях (БС) сетей GSM. Такое совмещение БС (co-siting), однако, вызывает необходимость обеспечения требуемого уровня разделения частотных диапазонов при гарантированном качестве покрытия фрагментов сетей 2G/3G для исключения возникающих интермодуляционных помех и интерференции между БС. Использование новейших двух- и трехдиапазонных панельных антенн с кроссполяризацией в целом обеспечивает требуемый уровень развязки между сетями GSM/UMTS.

Необходимость оптимизации покрытия обусловлена динамическим характером сетей UMTS, зоны покрытия которых изменяются в зависимости от нагрузки. Небольшие размеры этих зон при обслуживании абонентов вызывают проблему организации хэндовера, т.е. перехода абонента из зоны действия одной БС в зону действия другой без

потери разговора. Без оптимизации покрытия абонент, находясь в зоне действия нескольких БС, использует ресурс нескольких сот. В результате уменьшается общая емкость сети, снижаются уровень обслуживания и качество предоставляемых услуг.

Проблемы организации качественного покрытия в условиях динамически меняющейся нагрузки во многом решаются при использовании антенн с регулировкой угла наклона диаграммы направленности (ДН).

Задача оптимизации радиопокрытия в сетях 3G, в условиях ограниченного частотного ресурса, имеет решающее значение для обеспечения высокого качества передачи голоса и данных. В предыдущем номере мы подробно остановились на особенностях новейших панельных антенн с кроссполяризацией (X-Pol) для сетей UMTS. В продолжение этой темы мы бы хотели предложить читателям журнала небольшой обзор антенных комплексов, создаваемых на базе этих антенн. Дело в том, что при развертывании сетей UMTS операторам приходится решать проблемы совместимости с имеющейся инфраструктурой сетей GSM и действующей в сети системой управления, проблемы возможности дистанционного управления основными параметрами, обеспечения эстетичного внешнего вида. Ведущие мировые производители антенного оборудования для сотовой связи активно предлагают на российском рынке антенные системы на базе панельных антенн X-Pol. Эти системы не только позволяют размещать базовые станции (БС) UMTS на сайтах GSM, но и существенно упрощают монтаж элементов антенно-фидерного тракта за счет их интеграции в корпус антенны. Одновременно улучшается внешний вид антенной системы, повышается ее общая надежность. Встроенный механизм электрического управления углом наклона диаграммы направленности антенны придает комплексам дополнительную очень важную функциональность, связанную с

возможностью обеспечения дистанционного управления площадью радиопокрытия. [33,34,35]

4. Сравнение характеристик рупорно-микрополосковой антенны с современными видами антенн.

Направленная антенна "Polaris 900-10" используются для работы в составе стандартов сотовой связи в качестве абонентских приемопередающих антенн для обеспечения высокого качества работы сотовых телефонов внутри помещений, в офисах, подвалах, ангарах или других местах с неблагоприятными условиями приема сигнала сотовой станции (Рис. 7)

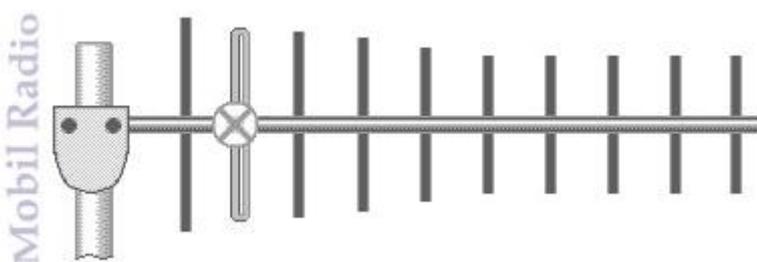


Рис. 3.7. антенна "Polaris 900-10"

Технические характеристики:

- рабочий диапазон частот 890-960 МГц
- коэффициент усиления 15 дБ
- КСВ 1.5

Направленная антенна " ACV26 CARANT " используются для работы в составе стандартов сотовой связи в качестве абонентских приемопередающих антенн в офисах, подвалах, ангарах или других местах с неблагоприятными условиями приема сигнала сотовой станции

Технические характеристики:

- рабочий диапазон частот 800-960МГц
- коэффициент усиления 15 дБ
- КСВ 2

Многодиапазонная, двунаправленная антенна стандартов сотовой связи KATHREIN 738 446, для установки внутри помещений (рис. 3.8.)



Рис. 3.8. Антенна KATHREIN 738 446

Технические характеристики:

- рабочий диапазон частот 1) 806-960, 2) 1710-2110 МГц
- коэффициент усиления 1) 5, 2) 6 дБ
- КСВ 1) 1.7, 2) 1.5

Секторная антенна KATHREIN 80010204V02, для сотовой связи LTE, GSM900



Рис. 3.9. секторная антенна KATHREIN 80010204V02

Технические характеристики:

-рабочий диапазон частот 790-960 МГц

-коэффициент усиления 14 дБ

-КСВ 1.5

Всенаправленная антенна для внутреннего и внешнего использования KATHREIN 800 10147 (рис. 3.10).

Технические характеристики:

-рабочий диапазон частот 1) 824 – 960, 2) 1805 – 2170 МГц

-коэффициент усиления 2 дБ

-КСВ 2



Рис. 3.10. антенна KATHREIN 800 10147

Всенаправленная антенна KATHREIN K7515641 для внутреннего и внешнего использования, 890-960 МГц,

Технические характеристики:

-рабочий диапазон частот 1) 890 – 960 МГц

-коэффициент усиления 5 дБ

-КСВ 1.5



Антенна секторная панельная KATHREIN 80010304 806-960 МГц
(рис. 3.11).

Технические характеристики:

-рабочий диапазон частот 1) 806 – 960 МГц

-коэффициент усиления 16 дБ

-КСВ 1.5 [36]

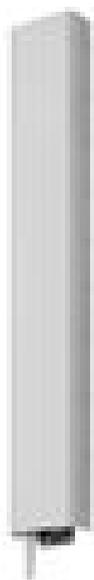


Рис. 3.12 Антенна секторная панельная KATHREIN 80010304

Таблица 1 сравнения технических характеристик современных и разработанной антенны

Таблица 1.

Название	Диапазон 1	Диапазон 2	Диапазон 3	КСВ/КУ 1	КСВ/КУ 2	КСВ/К У 3
Антенна 1	470-490 МГц	850-1000 МГц	1700-2100 МГц	2.5/6	2.5/7	2.5/10
80010202V02	790-960 МГц	-	-	1.5/14		
738 446	806-960 МГц	1710-2110 МГц		1.7/5	1.5/6	
80010204V02	790-960 МГц			1.5/14		
Polaris 900-10	890-960 МГц			1.5/15		
ACV26 CARANT	800- 960МГц			2/14		
800 10147	824 – 960 МГц	1805 – 2170 МГц		2/2	2/2	
К7515641	890-960 МГц			1.5/5		
80010304	806 – 960 МГц			1.5/16		

На основе сравнительной таблицы характеристик антенн видно, что однадиапазонные антенны по своим качественным характеристикам могут превосходить разработанную нами антенну, однако при сравнении с антеннами, работающими в двух и более диапазонах, наглядно видно что разработанная нами антеннами успешно конкурирует с современными видами антенн от известных фирм производителей (KATHREIN).

Выводы к главе III

В данной главе приведена разработка широкополосной рупорно-микророскоковой антенны. В проектирования рупорно-микророскоковой антенны велось в программе Ansoft HFSS, даны основные характеристики и раскрыты возможности программы Ansoft HFSS. Кроме того, проведен сравнительный анализ основных характеристик разработанной антенны, с антеннами известных конструкций широко используемых в настоящее время.

Заключение

Развитие инфраструктуры информационно-коммуникационных технологий является одной из главных задач, поставленных правительством Республики Узбекистан перед разработчиками новой техники. Одной из составляющих такой инфраструктуры являются средства связи, обеспечивающие качество, расширение функциональных и сервисных возможностей, уменьшение массогабаритных показателей, увеличение надежности их работы и повышение экономического эффекта.

В связи с этим актуальной является разработка и исследование широкополосной трехдиапазонной рупорно-микроразомкнутой антенны.

В данной диссертационной работе рассмотрены конструкции и принципы работы рупорных и микроразомкнутых антенн, приведена их классификация, раскрыты преимущества и недостатки.

Рассмотрены основные задачи, стоящие перед разработчиками антенн, такие как: расширение рабочей полосы частот, уменьшение габаритных размеров антенны, уменьшение бокового излучения, повышение коэффициента полезного действия. Приведены известные методы решения указанных задач.

Приведена разработка новой широкополосной рупорно-микроразомкнутой антенны. Проектирование рупорно-микроразомкнутой антенны велось в программе Ansoft HFSS, при этом даны основные характеристики и раскрыты возможности данной программы. Кроме того, проведен сравнительный анализ основных характеристик разработанной антенны, с антеннами известных конструкций, широко используемых в настоящее время.

Значимость полученных результатов заключается в возможности практического использования при производстве широкополосных антенн и внедрении их в эксплуатацию.

Список использованной литературы

I. Законы Республики Узбекистан

1. Закон Республики Узбекистан «О связи». Ведомости Верховного совета Республики Узбекистан, 1992г., №3, ст. 159; Ведомости Олий Мажлиса Республики Узбекистан, 1998г., №3, ст. 38; 2000г., №5-6, ст.153; 2003г., №5, 67.

2. Закон Республики Узбекистан «О телекоммуникация». Ведомости Олий Мажлиса Республики Узбекистан, 1999г., №9, ст. 219; Собрание законодательства Республики Узбекистан, 2004г., №37 ст. 408; 2005г. №37-38 ст.279; 2006г., №14, ст. 113; 2007г., №35-36, ст. 353; 2011., №52, ст. 557.

3. Закон Республики Узбекистан «О радиочастотном спектре» Ведомости Олий Мажлиса Республики Узбекистан, 1999г., №1, ст. 16; 2003г., №5, ст. 67.

4. Закон Республики Узбекистан «Об информатизации». Ведомости Олий Мажлиса Республики Узбекистан, 2004 г., №1-2, ст.10.

II. Указы и постановления Президента Республики Узбекистан, Постановления Кабинета Министров

5. Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему внедрению и развитию современных информационно-коммуникационных технологий». 21 марта 2012 г., «ПП-1730. Собрание законодательства Республики Узбекистан, 2012г., №13, ст. 139.

6. программа дальнейшего внедрения и развития информационно-коммуникационных технологий в Республике Узбекистан на 2012-2014 годы. Постановление Президента от 21.03.2012 г., №ПП-1730.

III. Произведения Президента Республики Узбекистан И.А. Каримова

7. мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана / И.А. Каримов. – Т.: Узбекистан, 2009. – 48 с.

8. Каримов И. А. Обеспечить поступательное и устойчивое развитие страны – важнейшая наша задача. – Т. 17. – Т. «Узбекистан» - 2009. – 184.

IV. Основная литература

9. Электромагнитные волны в волноводах. МФТИ Москва 2006

10. Цалиев Т.А. Розрахунок мікросмужкових випромінювачів та антен. Навчальній посібник з курсового та дипломного проектування. Одеса, 2003

11. Панченко Б.А. Нефедов Е.И. Микрополосковые антенны М.: Радио и связь, 1986.

12. Патент Российской Федерации RU 2427060. Открытое акционерное общество "Центральное конструкторское бюро автоматики" 20.08.2011г.

13. Патент Российской Федерации RU 2220483. Семейкин Николай Павлович, Помозов Валерий Владимирович, Титов Алексей Никитич, Титов Алексей Алексеевич 27.12.2003г.

14. Патент Соединенных Штатов Америки US 3438040. MARCONI CO LTD 1969г.

15. Авторское свидетельство СССР SU 1125682 Предприятие П/Я Г-4493 : 23.11.1984г.

16. Авторское свидетельство СССР SU 1608767. Севастопольский приборостроительный институт 23.11.1990г.

17. Авторское свидетельство СССР SU 985863. Рязанский радиотехнический институт 30.12.1982г.

18. Авторское свидетельство СССР SU 1166205. Войсковая часть 44388-Р/1 07.07.1985г.

19. Авторское свидетельство СССР SU 1103316. Московский авиационный институт им.Серго Орджоникидзе 15.07.1984г.

20. Авторское свидетельство СССР SU 1363343. Предприятие П/Я В-2190, Предприятие П/Я В-8751 30.12.1987г.

21. Патент Российской Федерации RU 2471272. Татарников Дмитрий Витальевич (RU), Астахов Андрей Витальевич (RU), Степаненко Антон Павлович (RU) 27.12.2012

22. Патент Российской Федерации RU 64437. Федеральный научно-производственный центр Открытое акционерное общество "Научно-производственное объединение "Марс" 27.06.2007

23. Авторское свидетельство СССР SU 1684836. Предприятие П/Я В-8246 07.02.1991

24. Авторское свидетельство СССР SU 1626292. Предприятие П/Я А-3325 07.02.1991

25. Авторское свидетельство СССР SU 1401530. Уральский политехнический институт им. С.М М.КИРОВА 07.06.1988

26. Патент Российской Федерации RU 2251768 Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие "Агама" 10.05.2005

V. Периодические издания, статистические сборники и отчеты

27. Писецкий Ю.В., Бубенцов С.В. «Использование широкополосной антенны» Сборник докладов. ТУИТ. 2013г.

Интернет сайты

28. <http://slovari.yandex.ru> (Словарь поисковой системы Яндекс)

29. <http://ru.wikipedia.org> (Википедия- свободная энциклопедия)

30. [http://dic.academic.ru/Фазированная антенная решётка](http://dic.academic.ru/Фазированная_антенная_решётка) (Словарь «Академик»)

31. <http://ansoft.com/hfss> (официальный сайт программного комплекса Ansoft HFSS)
32. <http://gkrch.uz> (официальный сайт комиссии по радиочастотам Республики Узбекистан)
33. <http://www.selteq.com> (официальный сайт компании «Selteq»)
34. <http://raycom-w.ru>. (официальный сайт компании «Райком» - поставщик антенн)
35. <http://www.tssonline.ru> (интернет журнал «технологии и средства связи»)
36. <http://itnews.com.ua/> (интернет журнал «ITnews»)