МИНИСТЕМИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА»

Кафедра Телекоммуникационных сетей и систем

«Допущен к защите»

Зав.кафедрой Темырканова Э.К., доктор PhD, доц.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Исследование характеристик планарных антенн в сотовых телефонах
Специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации
Выполнила Бекмухаммет А.К. **Группа** РЭТ-16-5
Научный руководитель Сафин Р.Т, ст. преп.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

Консультанты
по технической части:
Сафин Р.Т, ст. преп.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

по экономической части:
Ибришев Н.Н., д.э.н., профессор
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Бекбасаров Ш.Ш., д.т.н
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:
Сафин Р.Т, ст. преп.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

Нормоконтролер: Гармашова Ю.М., доц.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

Рецензент: Маркосян М.В., д.т.н
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

Алматы 2020 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА»
Институт Космической инженерии и телекоммуникаций (ИКИТК)
Кафедра Телекоммуникационных сетей и систем
Специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникаций

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студенту Бекмухаммет Алимжану Каримулы
Тема проекта Исследование характеристик планарных антенн в сотовых телефонах

Утверждена приказом ректора № 147 от «11» ноября 2019 г.

Срок сдачи законченного проекта «25» мая 2020 г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта: Техническая литература в области исследования микрополосковых антенн. Техническая документация к современным антенно-фидерным устройствам. Программное обеспечение «MMANA-GAL». Направленная GSM антенна КР14-80. Резонансная частота – 1800 МГц. Коэффициент усиления в рабочем диапазоне частот не менее 14 дБ.

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломном проекте, или краткое содержание дипломного проекта: Планарные антенны в системах мобильной связи. Виды и классификация антенн систем сотовой связи. Методы оптимизации характеристик микрополосковых антенн. Увеличение полосы рабочих частот микрополосковых антенн для систем связи. Расчет характеристик направленных планарных антенн. Увеличение зоны покрытия. Безопасность жизнедеятельности. Бизнес план.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): Цели и задачи дипломного проекта. Актуальность. Оптимизация положения точки питания. Миниатюризация. Увеличение полосы рабочих частот микрополосковых антенн для систем связи. Увеличение зоны покрытия. Диаграммы направленности антенны. Безопасность жизнедеятельности. Технико-экономические показатели.

Основная рекомендуемая литература:

1 Панченко Б.А., Нефедов Е.И. Микрополосковые антенны. – М : Радио и связь, 1985.

2 Ковалев И.С. Расчет и конструирование полосковых устройств. – М.: Советское радио, 1974.

3 Вольман В И. Справочник по расчету и конструированию полосковых устройств. – М.:Радио и связь, 1982.

4 Foschini G.J. Layered Space-Time Architecture for Wireless Communications in a Fading Environment when Using Multiple Antennas // Bell Labs Technical Journal. 1996.-V. 1.

5 Fujimoto K. and James J.R. (editors). Mobile Antenna Systems Handbook. 2nd edition. Artech House. 2001.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов проекта

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Техническая часть	Сафин Р.Т.	09.10.2019 г.	
Экономическая часть	Ибришев Н.Н	22.05.2020 г.	
Безопасность жизнедеятельности	Бекбасаров Ш. Ш	24.05.2020 г.	
Применение вычислительной техники	Сафин Р.Т.	25.05.2020 г.	
Нормоконтроль	Гармашова Ю.М.	02-03.06.2020 г.	

График
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1	Планарные антенны в системах мобильной связи	13.01.-15.02. 2020 г.	
2	Устройство и принцип действия планарной антенны	25-30.01. 2020 г.	
3	Методы оптимизации характеристик микрополосковых антенн	02-20.02. 2020 г.	
4	Миниатюризация	22.02-01.03. 2020 г.	
5	Расчет характеристик направленных планарных антенн	02.03-01.04. 2020 г.	
6	Расчет коэффициента затухания в микрополосковых антеннах	02-20.04. 2020 г.	
7	Расчет диаграммы направленности слабонаправленных прямоугольных планарных антенн	21-30.04. 2020 г.	
8	Расчет направленной антенны	30.04.-10.05. 2020 г.	
9	Бизнес план	10.04.-25.05. 2020 г.	
10	Безопасность жизнедеятельности	1.04.-25.05. 2020 г.	

Дата выдачи задания «9» октября 2019 г.

Заведующий кафедрой _____ (Темырканова Э.К.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Научный руководитель проекта _____ (Сафин Р.Т.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению студент _____ (Бекмухаммет А.К.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аңдатпа

Дипломдық жоба бағытталған жоспарлы антенналардың сипаттамаларын зерттеуге бағытталған. Микротолқынды антенналардың сипаттамаларын оңтайландыру әдістері қарастырылған. Планарлық антенналардың негізгі сипаттамалары есептелген және алынған нәтижелерге талдау жүргізілді.

"Өміртіршілік қауіпсіздігі" бөлімінде қажетті ауа алмасу есептелді, кондиционер таңдалған және ұсынылған.

Экономикалық бөлімде бизнес-жоспар ұсынылды және жобаның экономикалық тиімділігі есептелген.

Аннотация

Дипломный проект направлен на изучения характеристик направленных планарных антенн. Рассмотрены методы оптимизации характеристик микрополосковых антенн. Рассчитаны основные характеристики планарных антенн и проведен анализ полученных результатов.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» вычислен необходимый воздухообмен, выбран и рекомендован кондиционер.

В экономической части предложен бизнес-план и подсчитана экономическая эффективность проекта.

Annotation

The diploma project is aimed at studying the characteristics of directional planar antennas. Methods for optimizing the characteristics of microstrip antennas are considered. The main characteristics of planar antennas are calculated and the results are analyzed.

In the section "life Safety", the necessary air exchange is calculated, and the air conditioner is selected and recommended.

In the economic part, a business plan is proposed and the economic efficiency of the project is calculated.

Содержание

Введение 8
1 Планарные антенны в системах мобильной связи 8
1.1 Виды и классификация антенн систем сотовой связи 10
1.2 GSM антенны 1800 МГц 1
1.3 Микрополосковые линии 22
1.4 Антенны, используемые в сотовых телефонах 26
1.5 Устройство и принцип действия планарной антенны 32
2. Методы оптимизации характеристик микрополосковых антенн 37
2.1 Оптимизация положения точки питания 37
2.2 Миниатюризация 41
2.3 Увеличение полосы рабочих частот микрополосковых антенн для систем связи 45
3 Расчет характеристик направленных планарных антенн 54
3.1 Увеличение зоны покрытия 54
3.2 Расчет волнового сопротивления 58
3.3 Расчет коффициента затухания в микрополосковых антеннах 60
3.4 Расчет диаграммы направленности слабонаправленных прямоугольных планарных антенн. 63
3.5 Расчет направленной антенны КР14-1800 66
4 Безопасность жизнедеятельности 70
4.1 Анализ условий труда 71
4.2 Анализ оборудования 73
4.3 Анализ микроклимата 73
4.4 Выбор сплит-системы. 77
4.5 Общий вывод по разделу 78
5 Оценка экономических показателей 78
5.1 Резюме 78
5.2 Характеристика предприятия 79
5.3 Описание услуг 79
5.4 Менеджмент и Стратегия маркетинга 80
5.5 Финансовый план 81
5.6 Эксплуатационные расходы 81
5.7 Расчёт показателей экономической эффективности 85
5.8 Общий вывод по разделу 86
Заключение 87
Список сокращений 1
Список литературы 89
Приложение А Справка антиплагиата
Приложение Б Электронная версия ДП и демонстрационные материалы (CD-R)

Приложение В Раздаточные материалы

Введение

В мобильных телефонах используются внутренние планарные антенны различных конструкций, вытеснившие внешние спиральные антенны, совмещенные с несимметричными вибраторами. В данной системе связи, которая охватывает миниатюризацию аппаратуры, а особенно антенной его части. Но не только его антенная часть должна быть миниатюризирована, надо также не забывать, что у сотового телефона надо уменьшать и его приёмную и передающую части. Развивающимися в данном направлении являются микрополосковые антенны, при производстве которых применяется технология пленочных гибридных интегральных схем Сверхвысокочастотног о диапазона. Фактически так можно выполнить все элементы антенн, линии передачи и устройства СВЧ. Обширный диапазон частот (0,2-18 ГГц), в котором используются МПА, еще больше увеличивает круг задач, возникающих при практическом использовании МПА и ФАР на их основе. Преимущества МПА и АР из них - малые габаритные размеры, масса и стоимость при высокой точности изготовления и воспроизведения характеристик. Узкополосность вследствие резкой частотной зависимости входного сопротивления, является основным недостатком микрополосковых антенн. Естественный путь расширения полосы рабочих частот bfp за счет использования более толстых подложек (или увеличения числа тонких подложек с разными диэлектрическими проницаемостями) имеет ограниченные возможности, так как при этом создаются более подходящие условия для возникновения поверхностных волн, резко снижающих эффективность антенны. К настоящему времени разработано и исследовано теоретически и экспериментально большое количество вариантов МПА. Однако диапазон длин волн, в котором применяются излучатели этого класса, простирается от метров до миллиметров. Для изготовления используются различные материалы, сами излучатели в силу своей конформности размещаются на объектах различной конфигурации. Поэтому оптимизаци МПА для систем связи, в особенности широкополосных, с улучшенными электродинамическими характеристиками предусматривает трудоемкий цикл расчета конструктивных параметров, разработку топологии устройства, изготовление, а затем длительный этап отработки параметров. Рациональный путь ускорения процесса проектирования - применение метода математического моделирования, который предполагает исследование математических моделей излучателей, адекватных изучаемым устройствам. Все это требует разработки математических моделей микрополосковых излучателей, анализа на их основе основных электродинамических характеристик, способов расширения рабочей полосы частот; при этом необходимо учитывать специфические особенности размещения МПИ на объектах ограниченных размеров. Изложенное позволяет утверждать, что дипломная работа актуальна. Непосредственно объектом исследования в

работе являются малогабаритные излучающие структуры и радиотехнические системы с их использованием.

1 Планарные антенны в системах мобильной связи

1.1 Виды и классификация антенн систем сотовой связи

Антенна – одна из основных составляющих системы по усилению сотового сигнала. Для решения задачи по улучшению приема сотовой связи используются две антенны – внешняя и внутренняя.

Внешняя антенна принимает и передает сигнал от станции сотового оператора до репитера. К сотовым телефонам пользователей и обратно от трубок к репитеру распределяет сигнал внутренняя антенна [1].

Плоская планарная антенна имеет две координаты, а если добавить многослойность, то и 3 координаты. Это одно из главных её отличий от спиральной и вибраторной антенн, которые можно считать антеннами с одной степенью свободы, т.е. с их длиной вдоль координаты Z. Поэтому можно предполагать, что планарная антенна имеет большие возможности, чем спиральная или спирально-штыревая антенн, и проектирование её обещает большие перспективы, в плане достижения тех же характеристик, но антенной с меньшими размерами. В отличие от регулярного несимметричного и симметричного вибраторов, в формировании частотных характеристик печатная антенна принципиально использует высшие типы волн. Обычно такая особенность уменьшает размеры, но требует точное проектирование устройств. Разновидности антенн для систем связи приведены на рисунке 1.1 [2].

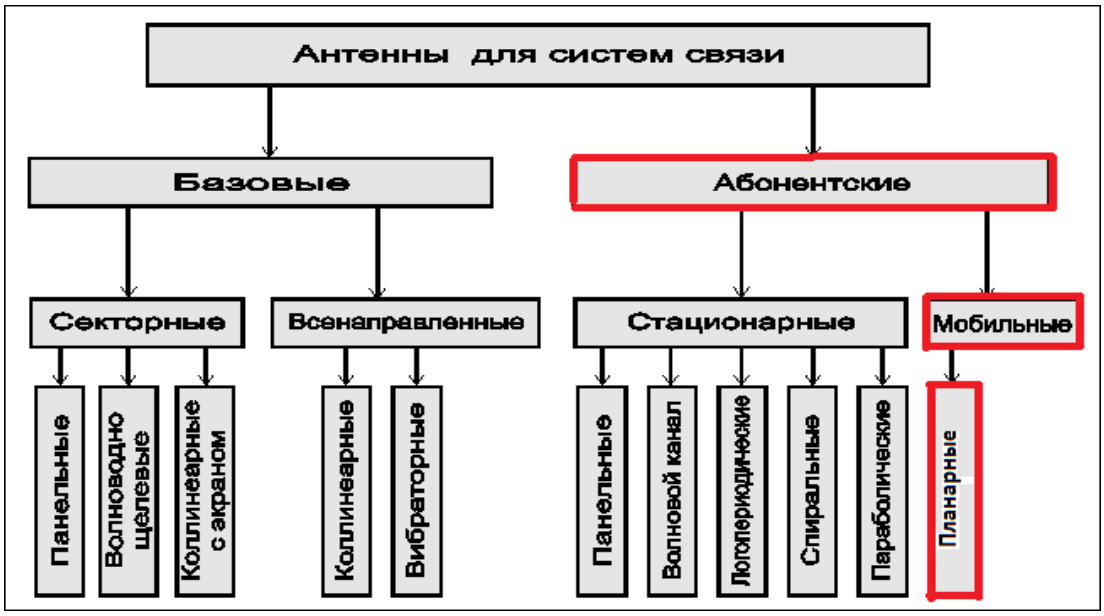


Рисунок 1.1 – Антенны для систем связи

В стремлении скрыть антенну внутри корпуса можно уследить и эстетический и психологический смысл, когда пользователь не думает, откуда излучается СВЧ мощность. Имеется статистика о том, что 50% поломок сотового телефона связано с поломкой антенны, поэтому в

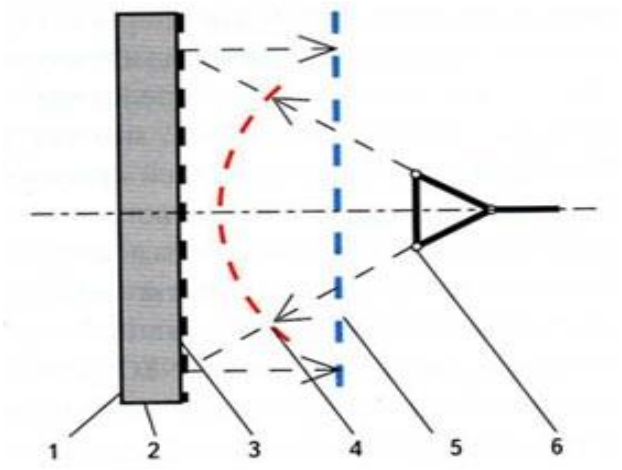
техническом плане скрытие антенны увеличивает надежность прибора. К тому же исключаются ситуации самого напряженного сценария работы усилителя мощности, когда сотовый телефон находится в зарядном устройстве, и при получении звонка с одновременной поломкой антенны напряжение на коллекторе мощного транзистора может превысить 15 вольт и более. Это приводит к выходу из строя выходного транзистора усилителя мощности. Поэтому желательно исключить выворачивание и обламывание антенны. Самый радикальный способ для этого – спрятать антенну в корпус [3].

Планарная печатная антенна как нельзя лучше подходит для реализации идеи адаптивной антенны в сотовых телефонах, поскольку позволяет быстро и эффективно перестраивать диаграмму направленности электронным способом. В настоящее время уже используются антенна, составленная из двух разнесенных примерно на четверть длины волны излучателей-антенн (Space Diversity Antenna). Этот режим приема с разнесенными антеннами, однако, достигается за счет дополнительных потерь сигнала при электронном переключении антенн.

Внедрение идеи автоматического слежения (т.е. сохранение диаграммы направленности строго направленной на базовую станцию, при любом изменении положения пользователя в пространстве), позволит получить выигрыш и от использования поляризационно развязанных каналов приема и передачи. При этом можно улучшить развязку каналов не только по частоте (в дуплексном фильтре), но и используя поляризационные фильтры. Это решение дает улучшение параметров системы в целом.

Перспективной является также идея стабилизацию диаграммы направленности по отношении к вертикали. Эта идея основана на том, что антенны базовых станций имеют преимущественно вертикальную поляризацию. Поэтому можно осуществить стабилизацию диаграммы направленности антенны сотового телефона электронным или даже механическим (по принципу отвеса, используя земное притяжение) способом. В этом случае, когда пользователь наклоняет телефон, т.е. меняет его ориентацию в пространстве, ориентация диаграммы направленности остается неизменной и согласованной по поляризации с антеной базовой станции[3].

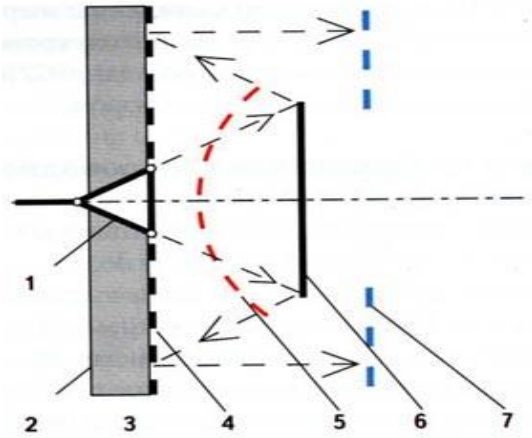
Принцип действия печатной антенны, заменяющей параболическое зеркало. На рисунке 1.2 показана простейшая схема планарной отражательной антенны. На плоской отражающей поверхности расположены планарные элементы, размеры которых подобраны так, чтобы фаза отраженной волны от каждого элемента компенсировала разность фаз между сферическим фронтом волны и плоским фронтом. Компенсация разности фаз приводит к тому, что сферический фронт первичного излучателя после отражения от планарных элементов превращается в плоский фазовый фронт. Несколько осложненная версия конструкции планарной отражательной антенны показана на рисунке 1.3. В этом случае первичный излучатель расположен в плоскости



1 – металлизация, 2 – диэлектрическая подложка, 3 – решетка отражающих элементов, 4 - сферический фазовый фронт, 5 – плоский фазовый фронт, 6 – первичный излучатель

Рисунок 1.2 – Простейшая схема планарной отражательной антенны

отражателей, а в схему распространения волны первичного излучателя введен контррефлектор. При этом толщина антенны уменьшается вдвое, однако контррефлектор затеняет часть апертуры антенны. На рисунке 1.3 показана вырезанная центральная часть плоского фазового фронта на излучающей поверхности антенны.

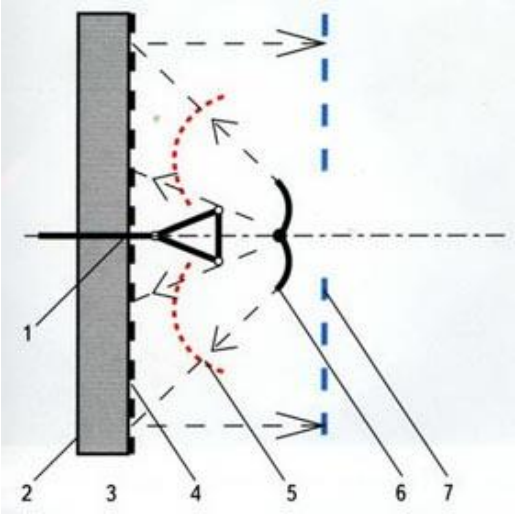


1 – первичный излучатель, 2 - металлизация, 3 – диэлектрическая подложк а, 4 – решетка отражающих элементов, 5 - сферический фазовый фронт, 6 - контррефлектор, 7 – плоский фазовый фронт

Рисунок 1.3 – Схема планарной отражательной антенны с плоским контррефлектором

Искажения плоского фазового фронта на излучающей поверхности антенны приводит к снижению КУ и росту уровня боковых лепестков. На рисунке 1.4

показана версия конструкции планарной отражательной антенны, в которой контррефлектор образован половиной эллиптического тороида. При этом волна, отраженная контррефлектором, не освещает центральную часть отражающей поверхности антенны. Поэтому не проявляется затенение, вызванное наличием контррефлектора, а на освещенной части отражающей поверхности получается более равномерное распределение излучающих токов. Фронт волны, отраженной контррефлектором, не является сферическим. Такое изменение конфигурации фронта волны, падающей на основную отражающую поверхность, осложнило бы проектирование зеркальной антенны, поскольку зеркало должно иметь не параболическую форму. Однако в случае отражающей поверхности, образованной решеткой отражателей, корректировка фазового сдвига, происходящего при отражении волны от отражающей поверхности, легко учитывается при расчете размеров отражающих элементов [4].

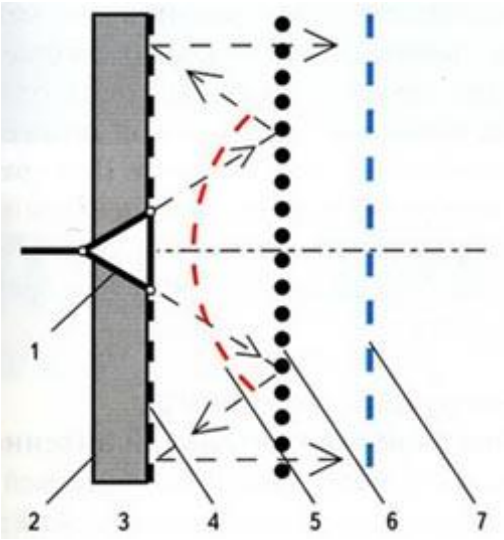


1 – первичный излучатель, 2 - металлизация, 3 – диэлектрическая подложка, 4 – решетка отражающих элементов, 5 - фазовый фронт волны, отраженной контррефлектором, 6 — контррефлектор, 7 – плоский фазовый фронт

Рисунок 1.4 – Схема планарной отражательной антенны с контррефлектором в виде половины эллиптического тороида

Изящная версия конструкции планарной отражательной антенны показана на рисунке 1.5. В этом случае апертура антенны затянута поляризатором, образованным системой параллельных проводников. Положим, что проводники поляризатора расположены в горизонтальной плоскости. Первичный излучатель излучает волну с горизонтальной поляризацией, эта волна отражается от поляризатора и падает на плоскость, несущую на себе отражатели[5]. Размеры отражателей должны быть рассчитаны так, чтобы не только обеспечивать разность фаз, необходимую для формирования плоского фазового фронта, но и обеспечивать поворот

плоскости поляризации отраженной волны на 90° - в этом случае отраженная волна приобретает вертикальную поляризацию и свободно проходит через поляризатор. При этом толщина антенны также уменьшается вдвое, и не возникает затеняющего действия контррефлектора. Однако эта версия конструкции планарной зеркальной антенны имеет свой недостаток. Тщательно подобранные размеры отражателей, которые должны обеспечить при отражении волны и требуемую разность фаз, и поворот плоскости поляризации, оказываются эффективными в ограниченной полосе частот, что снижает полосу пропускания, в которой обеспечен максимум КУ антенны[6].



1 – первичный излучатель, 2 - металлизация, 3 – диэлектрическая подложка, 4 – решетка отражающих элементов, 5 - сферический фазовый фронт, 6 – поляризатор в качестве контррефлектора, 7 – плоский фазовый фронт

Рисунок 1.5 – Схема планарной отражательной антенны с поляризационным контррефлектором

При конструировании мобильных средств связи для различных видов транспорта особенно эффективны планарные, или низкопрофильные, антенны. Они легко интегрируются в корпус самолета, в крыши автомобилей и вагонов. Высота профиля таких антенных систем не превышает 20 мм. Не менее эффективны планарные антенные системы в носимых средствах связи, ввиду того что позволяют добиться очень высокой степени интеграции элементов и компактности[7].

Добиться минимальной высоты профиля позволяет технология производства антенных систем на основе многослойных печатных плат (МПП). При этом подходе эффективно решаются проблемы снижения габаритов и массы радиоэлектронных средств и одновременно достигаются достаточно высокие для мобильных, в том числе носимых, средств связи электродинамические характеристики.

Планарная антенна была выполнена по волноводно-щелевой технологии и для своего времени обладала достаточно высокими электродинамическими характеристиками, но была необычайно трудоемка и материалоемка при изготовлении, что показано на рисунке 1.6. Это была базовая технология первого поколения, для преодоления существенных недостатков которой на следующем этапе развития была применена микрополосковая технология на основе двухсторонних печатных СВЧ-плат из фольгированного диэлектрика.

Рисунок 1.6 – Волноводно-щелевая планарная анетенна первого поколения

В одном слое выполняются облучатели и коммутационные линии, в другом слое – “земля". Это существенное изменение подхода к конструкции и технологии планарных антенн позволило коренным образом пересмотреть базовую технологию и исключить трудоемкие и дорогостоящие технологические операции механической обработки с поэтапной термостабилизацией, монтажа и пайки перегородок и штырей в специальных технологических приспособлениях, гальванического серебрения. Главный недостаток – технологически вынужденное фрагментарное построение АФУ – был частично преодолен в последующих разработках. Этот период развития технологии следует рассматривать как второе поколение планарных антенн на основе двусторонних печатных плат, которая показана на рисунке 1.7[8].

Рисунок 1.7- Микрополосковая планарная антенна второго поколения

В настоящее время идет развитие технологий третьего поколения. Главное отличие новой технологии – это трехмерная структура СВЧ-устройств на основе МПП.

Базовая технология третьего поколения основывается на следующих конструктивно-технологических принципах:

– применение СВЧ-материалов (диэлектрик и препрег) от одного производителя с наилучшими параметрами для конкретного конструктивно-технологического решения и максимальными размерами, превышающими потребные размеры полотна антенны;

– применение современного специализированного программного обеспечения для проектирования и моделирования антенн с высокой точностью (прецизионно);

– создание трехмерной структуры антенны;

– применение технологии многослойных печатных плат для формирования конструкции;

– в приемо-передающее АФУ с обеспечением надежного неразъемного соединения интеграция распределенных многоканальных МШУ с режекторными фильтрами;

– для обеспечения надежного неразъемного СВЧ-перехода используем минимизация трактов деления мощности и их интеграцию в приемо-передающее АФУ ;

– интеграция фидерных линий СВЧ-трактов с СВЧ-излучателями, распределенной системой частотной режекции, МШУ и трактами деления и общего защитного обтекателя в единую многослойную многоуровневую трехмерную структуру типа “сэндвич";

– применение совмещенного приемопередающего полотна внешних излучателей АФУ;

– интеграция фидерных СВЧ трактов внутренних излучателей с фазовращателями;

– интеграция в АФУ кросс-платы для питания распределенного МШУ, фидерных трактов, линий контроля, управления и питания усилителей мощности;

– применение ячеистых конструкций обечаек для повышения жесткости конструкции СВЧ-модуля, обеспечения секционирования (экранировки) трактов сложения/деления мощности, МШУ, фильтров и обеспечения теплостоков от внутренних элементов на внешнюю сторону конструкции станции с использованием сплошных слоев “земля"[9].

1.2 GSM антенны 1800 МГц

Настоящее время осуществляется связь по каналам систем сотовой связи.

Разделим антенны на несколько подвидов:

– GSM антенны 900 и 1800 МГц;

– 3G антенны;

– Wi-Fi антенны;

– двухдиапазонные, рассчитанные для приема сразу нескольких диапазонов одновременно.

Также антенны для сотовых систем связи разделяются на внешние и внутренние.

GSM антенны 900 МГц:

– всенаправленные GSM 900 антенны;

– направленные 900 МГц антенны;

– секторные GSM 900 антенны.

В работе усилителя сотового сигнала GSM антенныиграют очень важную роль. Любой репитер состоит из следующих составных частей: наружной и внутренней антенн, самого усилителя и высокочастотных кабелей, соединяющих усилитель и антенны. И нельзя говорть что, какая-то из частей «важней» другой. Например, если вы используете мощные ретрансляторы, первоклассныевнешние gsm антенны, но у вас неподходящий кабель, то все попытки усилить мобильный сигнал сведутся на нет. Как говорится, где тонко, там и рвётся[10].

Как следует из названия,GSM антенныпредназначены для приёма и передачи GSM сигнала. Это так, но не совсем. GSM – это один из многих стандартов мобильной связи (в России это самый распространённый стандарт). Иантенна GSM не различает, сигналы какого стандарта принимать: хоть GSM, хоть CDMA, хоть азбуку Морзе. Физика такова, что каждаяантенна gsmнастроена на приём и передачу радиоволн определённой частоты. В нашей стране в большинстве случаев мобильные телефоны работают на частоте 1800 МГц. Значит, иGSM антенныдля ретранслятора должны быть на 1800 МГц.

Чтобы лучше это понять, приведём такую аналогию:

Стандарты сотовой связи (GSM, CDMA, азбука Морзе, и т.д.) – это языки (русский, английский, немецкий и т.д.).

Частота антенны (1800 МГц, 2400 МГц, 900 МГц, и т.д.) – это тип голоса (тенор, баритон, бас, и т.д.).

Так вот, антенна gsm стандарта на 1800 МГц – это, по аналогии, человек, понимающий все языки мира, но слышащий при этом только те голоса, которые звучат, например, басом. У людей такого, к счастью, не бывает, но GSM антенны, как и любые другие антенны, работают именно так [11].

GSM антенны бывают внешние и внутренние. Внешние GSM антенны отличаются от внутренних тем, что могут крепиться на мачту, и ещё они обязательно герметичны.

И внешние gsm антенны, и внутренние бывают всенаправленные, направленные и секторные. Здесь всё тоже понятно из названий. Направленнаяантенна gsm подключается к усилителю и направляется на вышку нужного нам оператора связи. Но такая антенна не сможет поймать сигнал от тех вышек, которые остались за её «спиной». И, как следствие, телефоны от одних операторов будут работать хорошо, а от других – плохо.

Чтобы исключить зависть со стороны владельцев телефонов других операторов, ставят внешние gsm антенны круговой направленности. Они принимают и передают сигнал во все стороны, на все 360 градусов. Поэтому усиливаются сигналы от о всех операторов, и все абоненты получают качественную мобильную связь.

Внутри же помещений обычно ставятся секторные GSM антенны. Они облучают определённый сектор размером от 60 до 120 градусов. Если GSM антенна будет установлена на стене, то не стоит выбирать всенаправленную антенну и зря облучать стену, теряя в мощности сигнала. Надо использовать секторные GSM антенныи [12].

Внешние стационарные антенны. Все стационарные антенны можно разделить на два типа: направленные и ненаправленные. В качестве ненаправленных стационарных антенн в основном применяются полуволновые, коллинеарные и солинейные антенны.

Ненаправленные антенны по сравнению с направленными антеннами обладают, как правило, меньшим усилением и применяются в основном там, где возможен прием сигнала от нескольких базовых станций. По конструкции и характеристикам они очень похожи на автомобильные антенны.

Существует много типов направленных антенн, которые отличаются только конструктивным исполнением. В основном используются направленные антенны типа волновой канал, логопериодические и плоские печатные, Антенна типа волновой канал имеет больший коэффициент усиления и проста в изготовлении. Логопериодическая антенна имеет более сложную конструкцию при тех же габаритах, что и антенна типа "волновой канал".

Хотя логопериодическая антенна и имеет меньший коэффициент усиления, но она широкополоснее, что позволяет ее использовать в большем интервале радиочастот. Для сравнения приведем коэффициенты усиления наиболее распространенных внешних антенных для сотовых телефонов. Простая автомобильная антенна имеет усиление 1...3 дБ (1-2 кубика по шкале телефона), волновой канал - 7...15 дБ (в зависимости от количества элементов, качества сборки и настройки антенны), что составляет уже 2-3 кубика по шкале, а логопериодическая антенна - 7...12 дБ.

Антенны типа волновой канал. В сотовой связи в качестве стационарных антенн получила широкое распространение антенна типа Уда-Яги (или "волновой канал"). Эта антенна имеет много разновидностей, которые различаются между собой числом элементов, плоскостями поляризации и конструкцией отдельных элементов. Антенна для сотовой связи имеет вертикальную поляризацию, и поэтому ее активные вибраторы, рефлекторы и директора устанавливаются вертикально. "Волновой канал" до настоящего времени является одной из лучших антенн для радиосвязи на УКВ, а также приема телевидения. Применение такой антенны позволяет значительно увеличить дальность действия сотового телефона, позволяя вести

связь из мест значительно удаленных от зоны обслуживания вашего оператора [13].

Выбор внешней антенны производится, исходя из ее основных параметров: рабочий диапазон (frequency range); коэффициент усиления (gain); импеданс антенны (impedance); КСВ - коэффициент стоячей волны (VSWR).

Рабочий диапазон антенны должен соответствовать диапазону частот, в котором работает ваш сотовый телефон. Коэффициент усиления следует выбирать по возможности наибольший, импеданс антенны (волновое сопротивление) должен быть равен 50 Ом, а коэффициент стоячей волны - не превышать двух. Все вышеперечисленные параметры антенны обычно указываются в ее паспорте, а если такого нет, то необходимую информацию может дать продавец магазина. В продаже есть антенны с аналогичными радиотехническими характеристиками и других фирм, которые по стоимости меньше указанных выше типов антенн. Это объясняется их низкой механической надежностью и плохой коррозийной стойкостью. Заметим, что в Западной Европе отсутствуют зоны неуверенного приема, и поэтому направленных антенн для терминалов GSM-900 практически не выпускается

В первых конструкциях сотовых телефонов применялись телескопические антенны, а несколько позже - малогабаритные антенны. В сотовых телефонах можно встретить такие малогабаритные антенны: спиральные, вибраторные и низкопрофильные.

При соответствующем выборе параметров спиральной антенны она очень эффективна. Для портативных радиотелефонов используется режим ненаправленного излучения, который реализуется при диаметре спирали D значительно меньше длины волны. При этом в плоскости витков антенна равномерно излучает во всех направлениях, а в плоскости, совпадающей с осью спирали, диаграмма направленности имеет форму восьмерки.

Спиральные антенны представляют собой закрытую полимерной оболочкой спираль на диэлектрическом стержне. Существуют модели со спиралью, заключенной в резиновый корпус, "в гибком исполнении". Спиральные антенны имеют физическую длину /12 при четвертьволновой электрической длине. При дальнейшем уменьшении физической длины резко возрастают потери. Неудовлетворительная работа спиральной антенны в портативных радиотелефонах в диапазоне частот 800...900 МГц привела к тому, что разработчики усложнили ее, добившись выигрыша по сравнению с одиночной спиралью. Усложненная спиральная антенна состоит из двух спиралей: первичной, жестко установленной на корпусе, длиной приблизительно 2 см и вторичной, длиной приблизительно 10 см, которая размещена внутри корпуса радиотелефона. В выдвинутом состоянии вторичная спираль становится основным излучателем.

В современных аппаратах антенны выполнены в виде короткого стационарного штыря, который установлен внутри корпуса, и его почти не видно. Изменение конструкции применяемых антенн связано, в первую

очередь, с ростом рабочей частоты, а также требованиями удобства их эксплуатации. Уменьшение размеров корпуса и соответственно размеров антенны приводит, как правило, к уменьшению эффективности ее работы во время передачи и приема. Поэтому применение небольших по размерам сотовых телефонов оправдано только там, где сотовая сеть мобильной связи достаточно развита и имеет мощные базовые станции.

Опыт показывает, что в большинстве случаев лучшая антенна - стандартная. При необходимости имеет смысл приобретать стационарную или автомобильную антенну. Стационарная направленная антенна устанавливается на улице так же, как телевизионная, и направляется на ближайшую базовую станцию. Такие антенны используют для улучшения качества связи в зданиях и подвальных помещениях, а также для обеспечения связью вне зоны приема в пригороде.

В сотовой связи классическую полуволновую антенну, не зависящую от потерь в ближней зоне, как правило, используют в качестве выносной антенны. В большей части современных мобильных телефонов используются четвертьволновые вибраторы разных форм, в которых сама конструкция аппарата служит для антенны нижней частью излучающей структуры - как бы противовесом. Измеренная плотность потока излучения мобильного телефона может составлять несколько десятков процентов от номинальной мощности и зависит от того, как расположена рука пользователя с аппаратом у уха (рабочее положение аппарата).

Основные потери эффективности антенны в рабочем положении аппарата носят название "потери ближней зоны". Эти потери определяются в основном двумя факторами: результирующей изрезанностью диаграммы направленности и потерями мощности излучения на единицу массы тела пользователя и, естественно, что у абонента крупных размеров потери ближней зоны больше. Находясь вдали от городов, пользователи сотовой связи нередко сталкиваются с неуверенным приемом базовых станций. Выходом из данного положения является использование для работы телефона внешней антенны. Рассмотрим некоторые особенности радиосвязи в широко распространенном стандарте GSM. В стандарте GSM-900 всего 124 частотных канала. Сотовый телефон, как и базовая станция, могут работать на любой частоте, определенной оператором. Передача от базовой станции (BS) на телефон (MS) ведется на одних частотах (935,2...959,8 МГц), в то время как передача от сотового телефона на базовую станцию - на других на частотах (890,2...914,8 МГц). Канал от базовой станции (BS) к мобильной станции (MS) носит название Down Link, а от MS к BS - Up Link [14].

Операторы обычно используют ограничение дальности работы мобильного телефона от базовой станции до 35 км, что обусловлено особенностями стандарта. Если в сети стандартной конфигурации в одном частотном канале формируется 8 временных интервалов (тайм-слотов): один служебный, а семь - разговорных, то в этом случае максимальная дальность связи на каждом канале составляет 35 км. В GSM можно пользоваться и

нестандартной конфигурацией соты. В этом случае дальность связи увеличивается до 70... 100 км (конфигурация Extended Cell), а емкость сети уменьшается до 2-3 каналов.

На дальность радиосвязи, как известно, влияют такие факторы: Местоположение BS и MS и рельеф местности. Мощность и чувствительность сотового телефона (MS). Мощность и чувствительность базовой сотовой станции (BS). Антенны, установленные на MS и BS. Время года и погодные условия.

Обычно базовые станции имеют мощность 20...30 Вт. Антенны применяются либо штыревые, либо направленные. Чувствительность базовых станций составляет минус (100... 115) дБ, в то время как выходная мощность телефона составляет 0,3...2 Вт, а чувствительность - минус (90...105) дБ. Чувствительность телефона в основном определяется технологиями, используемыми при создании малошумящих входных устройств[15].

Если в зонах уверенного приема разница в чувствительности и мощности между различными моделями сотовых телефонов практически незаметна, то в зоне неуверенного приема она может стать критической. Зачастую трубка показывает уровень сигнала от базовой станции 1-2 кубика (по шкале), а установить соединение не может: не хватает мощности. И хотя стандартизация ETSI регламентирует стандартные выходные мощности для каждого класса телефонов, реальное значение может незначительно колебаться. Хорошей чувствительностью отличаются трубки Sagem, Alcatel, Motorola. А по мощности проходят все старые телефоны, особенно Motorola. Все телефоны фазы 2 имеют примерно одинаковую мощность.

Во время установки сеанса радиосвязи следует учитывать, что радиоволны распространяются лучше на ровной местности и по поверхности реки, в то время как в лесу прохождение волн хуже, чем в городе. Радиосигнал распространяется или принимается лучше, если вы находитесь на высоте, господствующей над окружающей местностью. Бывает так, что во время сеанса связи вас слышат хорошо, в то время как собеседник время от времени пропадает. Для исправления ситуации следует заменить ваш телефон на аппарат с большей чувствительностью. Если же вы находитесь на таком расстоянии от базовой станции, что телефон ловит сигнал сети на пределе или нестабильно, то для улучшения радиосвязи следует попробовать подключить к телефону внешнюю антенну.

В зонах неуверенного приема между каналами с одинаковыми и соседними частотами часто наблюдаются интерференционные помехи. Это связано с ограниченностью частотного ресурса, выделенного операторам GSM-900. И в связи с этим, в зоне неуверенного приема часто фиксируются сигналы от разных базовых станций, имеющие одинаковые или соседние значения частоты сигнала.

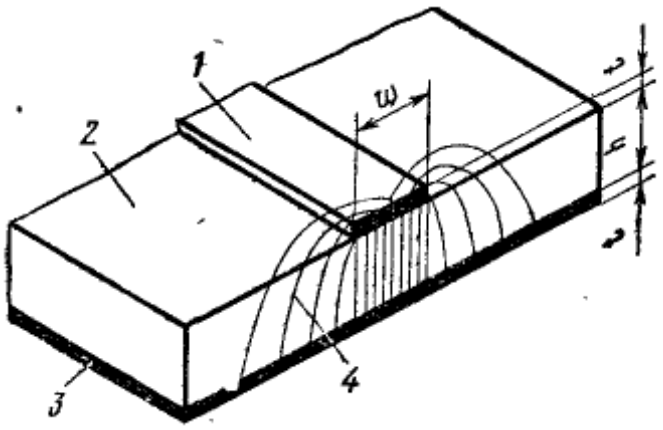
Такие сигналы создают взаимные помехи, мешающие связи, а при определенных уровнях сигналов связь становится и вовсе невозможной. Если на экране телефона фиксируется сильный сигнал от базовой станции, а

установить соединение не удается или удается, но речь все время пропадает, значит, вы столкнулись с "чужаками". В такой ситуации телефон не всегда способен выбрать другую частоту, поэтому если у вас телефон Nokia, то можно попытаться воспользоваться функцией "NetMonitor". При отсутствии в телефоне функции NetMonitor следует применить внешнюю направленную антенну с хорошей диаграммой направленности [16].

1.3 Микрополосковые линии

Микрополосковая (в зарубежной литература patch- печатная) антенна (МПА) представляет собой металлический проводник той или иной формы, расположенный над заземленной подложкой.

Микрополосковая линия (МПЛ), которая показана на рисунке 1.8, представляет собой несимметричную полосковую линию, заполненную диэлектриком с высокой диэлектрической проницаемостью. Конструктивно МПЛ выполняют в виде диэлектрической подложки 2, на одну сторону которой наносят проводящую подложку 1 в виде пленки металла, а другую полностью покрывают металлической пленкой 3, которая служит проводящей (заземленной) поверхностью.



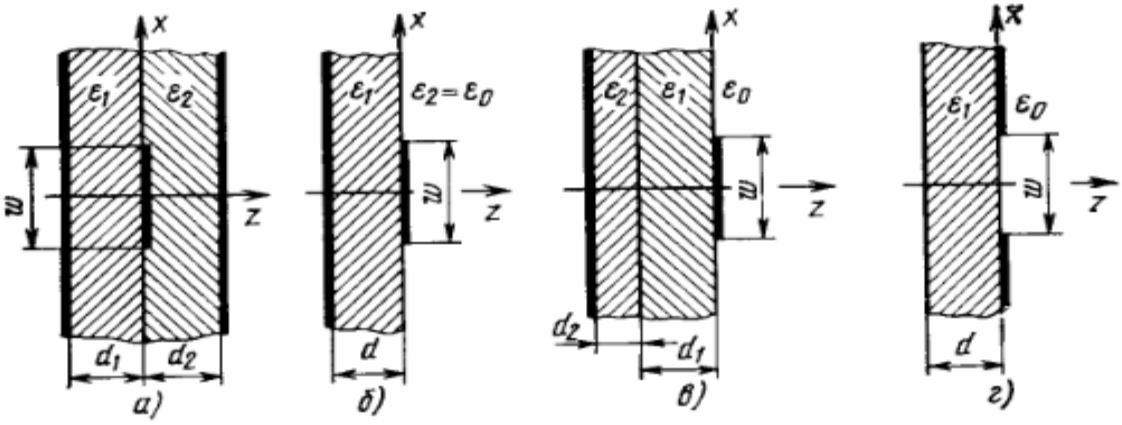
1-полосковый проводник; 2-диэлектрическая подложка;3-заземленная поверхность; 4-картина распределения силовых линии электрического поля

Рисунок 1.8 - Микрополосковая линия.

Линейные МПА вибраторного и щелевого типов физически являются отрезками соответствующих ПЛП и при анализе их излучения непосредственно используют такие характеристики линий, как постоянная распространения и характеристическое сопротивление. Эффективность излучения МПА и ее согласование во многом зависят от правильного выбора линий питания. [17].

В микрополосковых структурах, изображенных на рисунке 1.9 может быть изпользовано большое число типов гибридных волн, с продольными составляющими E и H. Однако с точки зрения антенных приложениий

представляет интерес волна низшего типа – так называемая квази –Т волна. Дисперсионное уравнение для определения постоянной распространения квази-Т волны можно получить из условия отсутствия



а) экранированная МПЛ; б) открытая МПЛ; в) открытая МПЛ на многослойной подложке; г) щелевая линия

Рисунок 1.9 - Микрополосковые линии

переноса энергии в поперечном направлении. Это условие соответствует равенству нулю функционалов следующего вида:

– для полосковых линий

$$Z(\beta) = \iint_S J^{э}(\rho) * \Gamma(\rho, \rho') * J^{э}(\rho') dS dS' \qquad (1.1)$$

– для щелевых линий

$$Y(\beta) = \iint_S J^{M}(\rho) * \Gamma_{22}(\rho, \rho') * J^{M}(\rho') dS dS' \qquad (1.2)$$

где $J^{Э}$, J^{M} – функции распределения поверхностных плотностей электрического и магнитного токов на полоске или в щели;

$\vec{\Gamma}_{11}, \vec{\Gamma}_{22}$ - тензорные функции Грина электрического и магнитного типов соответствующих структур, записаны так, что их характеристические части связаны с осью z.

В литературе часто упоминаются следующие особенности микрополосковых антенн:

– микрополосковые антенны более узкополосные по сравнению со спиральными;

– микрополосковые антенны легко реализуют круговую поляризацию, по сравнению с преимущественно вертикальной поляризацией у спиральных антенн;

– микрополосковые антенны имеют более направленную диаграмму излучения в азимутальной плоскости, чем спиральные и вибраторные, в силу своей несимметричности относительно оси Z.

Часть этих особенностей микрополосковых антенн можно рассматривать как недостатки, часть - как достоинства. Например, микрополосковая антенна, в отличие от спиральной, может реализовать любой вид поляризации, причем эта поляризация может эффективно переключаться. В любом случае, эти особенности нужно учитывать при проектировании микрополосковых антенн[18].

Как было отмечено, одно из свойств МПА является их узкополосность. Ограничение полосы происходит из-за резкого рассогласования антенны уже при незначительных расстройках частоты резонанса.

Естественный путь увеличения широкополосности без усложнения конструкции антенны, заключающийся в использовании более толстых подложек при умеренных значениях диэлектрической проницаемости материала, имеет ограниченные возможности, так как с увеличением толщины диэлектрика создаются возможности для возникновения более высоких типов поверхностных волн, что резко снижает излучательную эффективность антенны. Увеличение толщины подложки может привести не только к появлению высших типов поверхностных волн в резонаторе МПА. Эти волны могут служить источником значительных кроссполяризационных составляющих поля. Широкополосность МПА может быть улучшена за счет усложнения конструкции самой антенны [19].

Как уже отмечалось выше, печатная антенна - в общем случае многослойная структура, на поверхности каждого из слоев которой нанесены металлические проводники определенной формы. Данная конструкция может иметь одну или несколько точек возбуждения. В эти точки на антенну подается возбуждающее напряжение, которое наводит в структуре токи излучения.

Кроме точек возбуждения, на печатной антенне могут быть точки заземления (присоединения к заземляющей плоскости). Токи, наведенные в этой сложной конструкции формируют диаграмму направленности и реализуют другие характеристики антенны, необходимые для установления связи с базовой станцией [20].

Микрополосковые антенны способны излучать энергию с линейной, круговой и эллиптической поляризацией, допускают удобные конструктивные решения для обеспечения работы в двух- или многочастотных режимах, легко позволяют объединить многие элементарные излучатели в фазированной антенной решетке и разместить их на поверхностях сложной формы. Кроме того, МПА обладают высокими аэродинамическими, механическими и температурными характеристиками.

Элементарные излучатели характеризуются различными режимами работы: резонансным и нерезонансным, возможны их комбинации. Микрополосковые антенны имеют большое разнообразие схем возбуждения:

коаксиальным кабелем, прямоугольным волноводом, полосковыми линиями передачи (симметричная и несимметричная полосковая и щелевая линии и др.). Точка возбуждения смещается из геометрического центра элементарных излучателей, связь между линией возбуждения может быть распределенной (равномерно или неравномерно по длине пространства взаимодействия).

В настоящее время применяются большое число типов элементарных излучателей полосковой конструкции и антенных структур на основе объединения однотипных и разнотипных элементарных излучателей в единой антенной системе. Трудность классификации элементарных излучателей МПА состоит в том, что часто и в самом элементарном излучателе используются объединение различных функциональных элементов, конструктивно составляющих единое целое с собственно излучателем (фидер, согласующие и симметрирущие устройства и т.п.)[21].

Разнообразие форм свидетельствуют о больших сложностях теоретического анализа таких электродинамических структур. Переход от канонических форм элементарных излучателей к усложненным геометрическим формам позволяет одновременно решить задачи согласования активной и компесации реактивной компонент входного сопротивления элементарных излучателей, обеспечивая необходимой поляризации излучения, удобства сочетания элементарных излучателей в антенной решетке и многие другие.

Патч-антенна - популярный тип узкополосной СВЧ антенны состоящей из плоского металлического лепестка, закрепленного на некотором расстоянии параллельно пластине земли. Обычно, эту конструкцию заключают в пластиковый радиопрозрачный кожух, как для защиты от механических повреждений, так и из эстетических соображений. Такие антенны просты в изготовлении и легко могут быть модифицированы под определенные технические условия. патч-антенна может использоваться как отдельное устройство так и в качестве облучателя для построения более эффективных систем на основе параболлических отражателей. Патч-антенны очень похожи на микрополосковые антенны, которые есть ни что иное, как патч-антенны размещенные на диэлектрической подложке.

Простейшая патч-антенна (на рисунке 1.11), представляет собой квадратный лепесток со стороной равной половине длины волны расположенный над большей по размеру пластине земли.Чем больше пластина земли, тем лучше направленность антенны и больше ее габариты.

Рисунок 1.11 – Патч-антенна

Нередко пластину земли делают лишь немногим больше лепестка.Ток протекает в том же направлении, что и фидер, так, что векторный потенциал и, соответственно, электрическое поле следуют за током. Простая патч-антенна излучает линейно поляризованную волну. Ее излучение может быть рассмотрено как излучение двух щелей по краям антенны или, эквивалентно, как результат протекание тока в лепестке и пластине земли [22].

Патч-антенны легко изготавливать печатным способом. В этом случае они получаются немного компактнее, но, поскольку их толщина меньше, полоса пропускания также уменьшается из-за увеличения добротности. Уменьшение полосы пропускания пропорционально диэлектрической проницаемости подложки. Характерная ширина полосы пропускания печатной патч-антенны составляет единицы процентов. Часто, пластина земли реальных патч-антенн лишь немного больше лепестка, что также уменьшает эффективность. Способ возбуждения антенны также влияет на ее полосу пропускания. Прямоугольные (не квадратные) антенны могут быть использованы для получения веерной диаграммы направленности, у которой ширина вертикального и горизонтального лепестков существенно различаются. Кроме квадратных, могут также использоваться круглые или многоугольные лепестки. Расчет излучающих характеристик таких антенн значит.

1.4 Антенны, используемые в сотовых телефонах

В первых конструкциях сотовых телефонов применялись телескопические антенны, а несколько позже - малогабаритные антенны. В сотовых телефонах можно встретить такие малогабаритные антенны:

– спиральные;

– вибраторные;

– низкопрофильные.

В сотовых телефонах и стационарных радиосистемах широко использовались спиральные антенны поперечного (перпендикулярного оси) излучения с плотной навивкой спирали.

Габариты обычных несимметричных вибраторных антенн в форме прямого стержня равны четверти волны принимаемого (излучаемого) сигнала. А значит, при рабочей частоте 900 МГц высота излучателя будет равна 83 мм.

Естественно, столь длинные антенны сложно встраивать в корпус мобильного телефона, поэтому разработчикам нужно было искусственно укоротить монополь до приемлемой физической длины, сохраняя при этом неизменными его электрические размеры. Наиболее эффективный способ решения этой задачи – замена прямолинейных проводников спиральными, свернутыми в винтовую линию. Известно, что скорость распространения электромагнитной волны вдоль оси проводящей спирали всегда меньше скорости света, поэтому при неизменной частоте длина волны сигнала в такой структуре будет меньше его длины волны в свободном пространстве. Замедляющие свойства спиральных структур и позволяют уменьшить длину резонансной антенны в десятки раз, не изменяя ее электрические габариты. Вот почему выбор часто падает именно на спиральный монополь. Правда, при этом конструкторам приходится мириться с определенными потерями (в том числе со снижением коэффициента полезного действия на 5–10 %), но эти потери с лихвой компенсирует комфорт в эксплуатации[24].

Применение спиральной антенны позволило во многом решить проблему обеспечения устойчивой связи при произвольной ориентации антенны в пространстве. В отличие от прямолинейного вибратора, в спиральной антенне можно добиться чувствительности к электромагнитным волнам эллиптичной или даже круговой поляризаций. Следовательно, такая антенна может принимать сигналы при произвольном угле наклона плоскости поляризации в пределах своей диаграммы направленности (ДН). В портативных радиосистемах спиральные структуры излучают волны эллиптичной поляризации.

Появление двухчастотных приемников стимулировало дальнейшее развитие спиральных несимметричных антенн. Существуют решения задачи создания двухчастотных малоразмерных антенн. Например, можно помещать спираль малого радиуса, предназначенную для работы в диапазоне 1800 МГц, внутрь спирали большего радиуса с резонансной частотой 900 МГц Второй вариант – это комбинация штыревого излучателя для частоты 1800 МГц и спиральной антенны, намотанной вокруг него, обеспечивающей работу в диапазоне 900 МГц. Хотя рассмотренные конструкции двухдиапазонных антенн намного меньше прямого монополя, укоротить антенну, как правило, удается не более чем на 10% длины волны ее низкочастотного диапазона. Для дальнейшего уменьшения габаритов антенны было предложено изгибать, свертывать или как-либо трансформировать двумерные монополи в трехмерные структуры. Была разработана спирально-винтовая антенн . Уменьшить общую высоту антенны над плоскостью заземления мобильных коммуникаторов позволяют объемно-структурированные миниатюрные монополи. Высота типичной конструкции такой антенны не превышает 15 мм, т.е. на частоте 900 МГц составляет ~4% длины волны сигнала, а у некоторых антенн – не превышает 7 мм (~2% длины волны сигнала той же частоты). Объемно-структурированные спиральные антенны, в частности их спирально-винтовые варианты, свободно размещаются в корпусе мобильного телефона.

Недостаток ДН спиральных монополей, впрочем, как и обычных вибраторов, – необходимость вертикальной ориентации для обеспечения наилучшего режима излучения (приема) антенны. Однако это условие, как правило, не всегда выполняется. К тому же, излучение рассмотренных вибраторных антенн одинаково как в свободное пространство, так и по направлению к пользователю. Поэтому интерес представляют антенны, у которых характер изменения ДН наиболее безопасен для владельца телефона и слабо зависит от ориентации корпуса аппарата в пространстве. Популярным вариантом подобных низкопрофильных всенаправленных излучателей стало семейство планарных инверсных L- и F-образных антенн[25].

Виды спиральных антенн :

– первичная (жестко установленной на корпусе, длиной приблизительно 2 см);

– вторичная (длиной приблизительно 10 см, которая размещена внутри корпуса радиотелефона). В выдвинутом состоянии вторичная спираль становится основным излучателем.

Уменьшение размеров сотовых телефонов заставило отказаться от использования вибраторных и спиральных излучателей и перейти к низкопрофильным конструкциям. Микрополосковые антенны и F-образные антенны известны как типичные низкопрофильные антенны и их широко применяют в радиотелефонах. Габариты носимого телефонного аппарата позволяют расположить антенну на лицевой или боковой стороне корпуса. Антенны инверсного типа ILA, IFA и DIFA. Первой внутренней антенной, используемой в сотовых телефонах, можно считать простейший L-образный вибратор, располагаемый в перевернутом виде (отсюда термин "инверсный") над плоским экраном (рисунок 1.12).

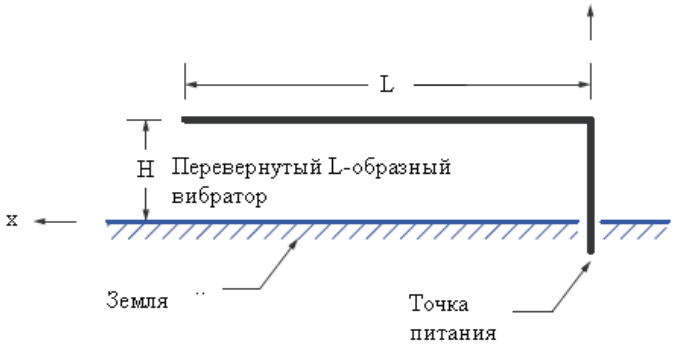


Рисунок 1.12 - Перевернутый L-образный вибратор (ILA)

Сейчас его применение – следствие естественного стремления спрятать антенный излучатель внутрь мобильных телефонов, разместив его вдоль длинной стороны корпуса. На вертикальный сегмент перевернутого L-вибратора подается питание. Свободный его конец через воздух либо

диэлектрик оказывается нагруженным на эквивалентную емкость, образуемую воздушным промежутком или диэлектриком, расположенным между горизонтальным сегментом и экраном [26].

Перевернутая L-антенна (Inverted-L Antenna, ILA) подобна короткой монопольной антенне. Так, ее диаграмма направленности почти идентична ДН короткого монополя, который является всенаправленным в плоскости .

Перевернутая IFA – антенна (Inverted-F antenna). стала следующим шагом в развитии конструкции L-вибратора. Антенна этого типа представляет собой, два L-вибратора разной длины (рисунок 1.12) .

При этом внешняя вертикальная стойка F-образной антенны нагружена на корпус, тогда как сигнал подается через "внутреннюю" вертикальную секцию. Введение дополнительного L-сегмента обеспечило гибкое управление значением входного сопротивления антенны и существенно упростило ее согласование.

Изменяя расстояния S между вертикальными секциями, можно добиться приемлемого значения реактивного сопротивления антенны. Значение S не влияет на резонансную частоту такого излучателя, и за счет улучшенного согласования антенны на резонансной частоте VSWR может быть менее 2. Однако при этом ширина рабочей полосы частот составляет всего 1,5 % (полоса типичных проводных F-образных антенн не превышает 2%), что слишком мало для средств мобильной связи .

F-образная антенна – достаточно старый тип антенны. Изначально она предназначалась для военной авиационной и ракетной техники.

Для расширения рабочего диапазона частот нередко используется гибридная конструкция, состоящая из двух параллельно расположенных над металлическим экраном L- и F-образных вибраторных антенн. Это – так называемая двойная перевернутая F-антенна (DIFA). В таком варианте конструкции L-антенна – пассивный элемент. Ее длина равна или почти равна протяженности перевернутой F-антенны (см. рисунок 1.13).

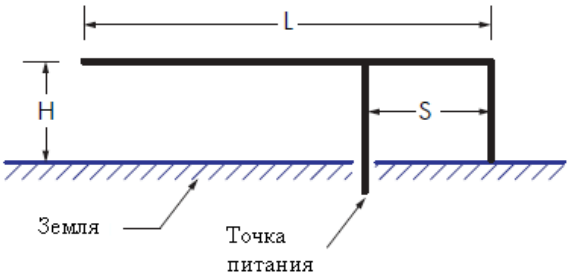


Рисунок 1.13 - Перевернутая F-образная антенна (IFA)

Подобное решение позволило вдвое расширить предельную полосу пропускания, доведя ее до 4% от номинала резонансной несущей частоты. Впрочем, даже такой полосы недостаточно для средств мобильной связи, учитывая разнос частот передающего и приемного каналов (например, в

диапазоне частот стандарта DAMPS 824–894 МГц с центральной частотой 859 МГц полоса рабочих частот должна составлять 8,1% номинала резонансной). Кроме того, габариты DIFA чрезвычайно велики – 0,6x8,6 см. Повышается эффективность использования нескольких L-антенн совместно с F-вибратором [27].

Осуществлен переход к качественно новой конструкции – планарной F_образной антенне (Planar Inverted- F Antenna PIFA) (см. рисунок.1.14). Вырожденным случаем PIFA являются планарные модификации инверсной L-антенны – PILA.

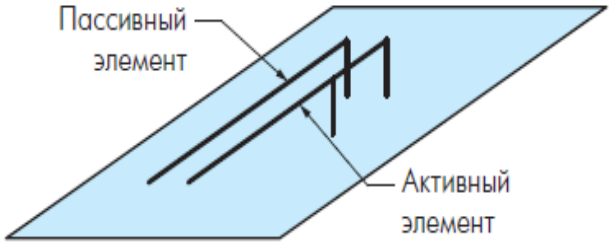


Рисунок 1.14- Двойная перевернутая F-антенна (DIFA)

PIFA - антенна представляет четвертьволновый резонатор, один конец которого заземлён, а другой открыт (холостой ход). PIFA возбуждается коаксиальной линией в точке, где входное сопротивление антенны близко к 50 Ом. Она состоит из набора микрополосковых излучателей, нанесенных на диэлектрическую плату, которая, в свою очередь, располагается на металлическом экране. Экран выполняет роль рефлектора. Излучатели соединяются между собой, образуя антенную решетку. Электромагнитное поле, создаваемое такой трехслойной конструкцией, имеет сложную структуру и зависит от формы излучающих элементов, а также от толщины и материала диэлектрика. Микрополосковые излучатели синфазно соединены микрополосковыми фидерными линиями, которые собираются к месту расположения конвертора. Антенны могут различаться геометрией элементарных излучателей, их расположением на поверхности диэлектрика и способом их соединения. Существуют варианты многослойных антенн .

Существует множественное разнообразие планарных антенн. Высокий спрос на планарные F-образные антенны объясняется таким их достоинством, как широкая полоса рабочих частот (до 10% от резонасной несущей).

Планарные “повёрнутые” антенны (PIFA) обычно состоит из планарных полосковых прямоугольных элементов, расположенных выше по отношению к горизонту плоскости ‘земли’(см. рисунок 1.15), с коротким завитком-отводом или ‘пином’ замыкания, и ещё один питающий планарный отвод-ответвление. Планарная ‘Повёрнутая’ антенна является вариантом монополя, где верхняя часть антенны расположена так, чтобы быть параллельной к полигону ‘земли’. Это сделано затем, чтобы уменьшить высоту антенны,

сохраняя при этом резонансную длину её трассы. Параллельные входные планары добавляют емкость к входному сопротивлению антенны, которая компенсируется путем осуществления короткого замыкания ответвления. Конец ответвления подсоединен к полигону ‘земли’ с добавлением переходного отверстия. Полигон ‘земли’ антенны играет важную роль в её функционировании.

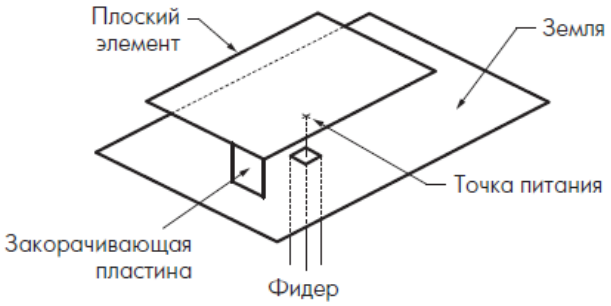


Рисунок 1.15 - Однодиапазонная планарная F-образная антенна (PIFA)

Возбуждение тока на планарном входее IFA является причиной возбуждения тока в плоскости полигона ‘земли’. В результате на IFA формируется электромагнитное поле и далее его отражение на полигоне ‘земли’. Такое идеальное поведение полигона ‘земли’, как отражателя энергии, возможно, когда плоскости земли бесконечна, либо гораздо бо́льшая по своим размерам, чем сам монополь. На практике размер металлического слоя монополя сравним с другой частью антенны, выступающей в качестве диполя. F F 18 из 43.Антенны GSM - комбинация антенна/земля будет вести себя как асимметричный диполь, при этом различия в распределении тока по двум частям диполя отвечает за некоторое искажение диаграммы направленности; · в общем случае, требуется ‘земли’ PCB-плоскости длиной примерно на одну четверть (λ/4) рабочей длины волны; · если длина PCB-плоскости земли гораздо больше, чем λ/4, диаграмма направленности будет становиться все более многолепестковая; с целью достижения всенаправленности диаграммы и 50Ω импеданса, оказалось на краю печатной платы. · miter’s используются, чтобы избежать прямоугольных изгибов планарных микрополосок антенны, что приводит к плохому току на ответвлении. · конусность (taper) необходима для того, чтобы компенсировать шаг резкого перехода между 50Ω-ной микрополосковой линии от модема и антенны. Всенаправленное поведение антенны PIFA с усилением значения обеспечивают достаточную производительность для обычных помещений, с учетом стандартных значений выходной мощности и чувствительности приёмников устройств с коротковолновым радиодиапазоном. Поляризация антенны скорее эллиптическая, чем линейная, с осевым отношением редко достигающим 20 дБ. Таким образом, антенна имеет возможность получать и вертикально и горизонтально поляризованные электромагнитные волны, которые могут быть оказаться в помещениях, где деполяризация является

доминирующим событием, а выбор лучшей поляризации затруднён. В настоящее время, многие беспроводные системы вертикально поляризованы. Хотя было доказано, что при использовании горизонтально поляризованых антенн, как на приёмнике так и на передатчике, результаты передачи энергии на 10 дБ больше, чем в среднем по сравнению с мощностью, принятой на вертикально поляризованые антенны на обоих концах соединения. · полоса пропускания PIFA увеличивается с её толщиной; · входное сопротивление PIFA может быть урегулировано, чтобы иметь соответствие значению сопротивления нагрузки без использования дополнительных цепей. PIFA можно рассматривать как вид, своего рода, линейной ‘повёрнутой’ антенны (IFA) с элементом проводного излучателя, расположенного на плате для расширения полосы пропускания. о во-первых, преимуществом PIFA является то, что её можно скрыть в мобильном корпусе, по сравнению с антеннами со шнуром / стерженем / спиралью; о во-вторых, преимуществом PIFA является снижение излучения к голове пользователя, сведения к минимуму поглощения мощности электромагнитных волн (SAR) и повышения этим эффективности антенны; о в-третьих, преимуществом является то, что PIFA демонстрирует умеренный или высокий выигрыш в вертикальной и горизонтальной состояниях поляризации.. Антенны GSM присутствуют с разных сторон окружающей среды. В этих случаях, важным параметром становится общее поле, то есть векторная сумма горизонтальных и вертикальных состояний поляризации. Узкополосная характеристика PIFA является одним из ограничений своих коммерческих приложений для беспроводных систем. короткое замыкание ответвления в точке питания типовых PIFA является хорошим методом для снижения размера антенны, но это приводит в узкополосному импедансу[28].

1.5 Устройство и принцип действия планарной антенны

1.5.1 Микрополосковая антенна. Микрополосковая или планарная (patch - печатная) антенна представляет собой металлический проводник той или иной формы, расположенный над заземленной подложкой. Она может быть совмещена с печатной платой, на которой расположены СВЧ каскады телефонной трубки. Имеются конструкции из параллельно расположенных многосторонних плат. В определенной точке к микрополосковой антенне подключается приемопередатчик. В этой точке осуществляется подвод мощности от передатчика и отвод принятого сигнала на вход приемника. Одним из общих структурных признаков полосковых устройств является наличие тонких металлических проводников. Обозначим толщину проводника буквой t (см. рисунок 1.16). Она может быть совмещена с печатной платой, на которой расположены СВЧ каскады телефонной трубки.Имеются конструкции из параллельно расположенных многосторонних плат. В определенной точке к микрополосковой антенне подключается приемопередатчик. В этой точке осуществляется подвод мощности от передатчика и отвод принятого сигнала на вход приемника.

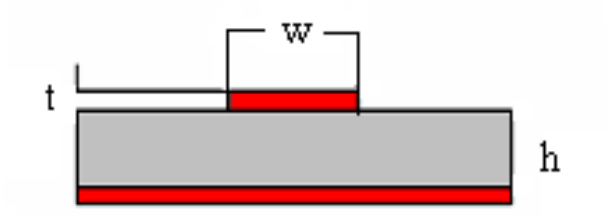


Рисунок 1.16 – Конструкция планарной антенны

Термин тонкий проводник означает выполнение следующих неравенств

$$t << w,h,$$

$$t << l,$$

$$t >> d.$$

где w – длина полоска;

h – ширина слоя диэлектрика;

l - длина волны в свободном пространстве;

d - толщина скин-слоя металла, из которого изготовлен полосковый проводник.

Первые два неравенства показывают, что толщина проводника является малым параметром по отношению к другим геометрическим размерам и длине волны. Третье неравенство говорит о том, что, несмотря на малую толщину, проводник можно рассматривать как металлическое тело, толщинакоторого существенно больше глубины проникновения поля в металл.

Для сохранения эффективности излучения микрополосковой антенны при уменьшении её размеров было в микрополосковом проводнике прорезается щелевая линия. В щели происходит концентрация электромагнитной энергии, а путь тока, протекающего по проводнику, увеличивается, что ведет к снижению частоты по сравнению с антенной без щели. Наличие щели играет большую роль в формировании диаграммы

1.5.2 Особенности планарных антенн. Направленности и частотной характеристики антенны. Особенности планарных антенн:

Часть этих особенностей планарных антенн можно рассматривать как недостатки, часть - как достоинства, планарная антенна, в отличие от спиральной, может реализовать любой вид поляризации, эта поляризация может эффективно переключаться. В любом случае, эти особенности нужно учитывать при проектировании планарных антенн.

Печатная антенна - многослойная структура, на поверхности каждого из слоев которой нанесены металлические проводники определенной формы. Данная конструкция может иметь одну или несколько точек возбуждения. В эти точки на антенну подается возбуждающее напряжение, которое наводит в структуре токи излучения.

– планарные антенны более узкополосные по сравнению со спиральными;

– планарные антенны легко реализуют круговую поляризацию, по - планарные антенны могут обеспечить меньший SAR (удельное поглощение мощности) в голове, но обеспечивают больший SAR в руке пользователя;

– планарные антенны имеют более направленную диаграмму излучения в азимутальной плоскости, чем спиральные и вибраторные, в силу своей несимметричности относительно оси Z.

Кроме точек возбуждения, на печатной антенне могут быть точки заземления (присоединения к заземляющей плоскости). Токи, наведенные в этой сложной конструкции формируют диаграмму направленности и реализуют другие характеристики антенны, необходимые для установления связи с базовой станцией .

1.5.3 Тенденции развития и внедрения планарных антенн. Любую антенну можно рассматривать как заданную в пространстве систему переменных во времени токов (или зарядов), амплитуды и фазы возбуждения которых выбирают из условия выполнения требуемого пространственного распределения излучения генератора или чувствительности приемника. Если невзаимные элементы отсутствуют, имеет место эквивалентность приемных и передающих антенн и свойства любой из них можно рассматривать при ее работе либо на излучение, либо на прием, в зависимости от удобства.

Каждая антенна как пассивное линейное устройство может работать в режимах передачи и приема. В обоих режимах антенна характеризуется направленными, поляризационными, фазовыми свойствами и входным импедансом.

Антенны характеризуются ближней и дальней зонами излучения. Излученное антенной поле можно определить непосредственно интегрированием по системе заданных токов (для вибраторных, щелевых антенн, антенн бегущей волны и т.д.) либо суммированием полей дискретных излучателей (для фазированных антенных решеток).

Все параметры антенн относятся к дальней зоне излучения, где излучаемая антенной волна считается плоской волной с поперечными ортогональными составляющими электрического поля и магнитного поля.

Под поляризацией волны понимается ориентация в пространстве вектора электрического поля E. В общем случае если вектор E (и, соответственно, вектор H) при распространении волны остается параллельным самому себе, то поляризация поля линейна. В частном случае если вектор E расположен горизонтально, а вектор H вертикально (перпендикулярно земле), то волна является горизонтально поляризованной. В случае если вектор E расположен вертикально, а вектор H горизонтально, то волна является вертикально поляризованной.

Если вектора E и H при распространении волны движутся по окружности, то поляризация волны круговая. Различают правое и левое направление вращения. При правом направлении, вращение, например,

вектора Е для наблюдателя, смотрящего вслед волне, происходит по часовой стрелке, при левом направлении – против часовой стрелки. Полный оборот вектор Е осуществляет при распространении на расстояние равное длине волны в свободном пространстве.

Использование антенн с различной поляризацией позволяет уменьшить взаимное влияние радиотехнических систем с близкими рабочими частотами на 10..20 дБ, что в ряде случаев может явиться единственным решением проблемы электромагнитной совместимости.

Одной из основных характеристик антенн является диаграмма направленности (ДН),характеризующая зависимость амплитуды излучаемого поля от угловых координат при неизменном расстоянии от антенны до точки наблюдения. Диаграмма направленности антенны — графическое представление зависимости коэффициента усиления антенны или коэффициента направленного действия антенны от направления антенны в заданной плоскости.

По форме диаграммы направленности антенны обычно подразделяются на узконаправленные и широконаправленные. Узконаправленные антенны имеют один ярко выраженный максимум, который называют основным лепестком и побочные максимумы, обычно имеющие отрицательное влияние, высоту которых стремятся уменьшить. Узконаправленные антенны применяют для концентрации мощности радиоизлучения в одном направлении для увеличения дальности действия радиоаппаратуры, а также для повышения точности угловых измерений в радиолокации. Широконаправленные антенны имеют хотя бы в одной плоскости диаграмму направленности, которую стремятся приблизить к кругу. Они находят применение например в радиовещании. Часто лепестки диаграммы направленности называют лучами антенны.

Диаграмма направленности антенны определяется амплитудно-фазовым распределением компонент электромагнитного поля в апертуре антенны, некоторой условной расчетной плоскости, связанной с ее конструкцией. Разработка антенны с требуемой диаграммы направленности сводится, таким образом, к задаче обеспечения нужной картины электромагнитного поля в плоскости апертуры. Существуют фундаментальные ограничения связывающие обратной зависимостью ширину луча и относительный размер антенны, то есть размер деленный на длину волны. Поэтому узкие лучи требуют антенн больших размеров или коротких волн. С другой стороны, максимальное сужение луча при данном размере антенны ведет к возрастанию уровня боковых лепестков. Поэтому в данном моменте приходится идти на приемлемый компромисс.

ДН характеризуется следующими параметрами:

а) Ширина главного лепестка в Е и Н плоскостях по уровню 3 дБ (в градусах);

б) Максимальный уровень боковых лепестков $А_{бок}$(дБ);

в) Максимальный уровень заднего излучения $А_{зд}$(дБ

Наличие задних и боковых лепестков свидетельствует о том, что антенна излучает радиоволны не только в области главного лепестка, но и в других направлениях, что может создавать помехи другим радиотехническим системам и снижает помехоустойчивость, если антенна работает на прием. Поэтому при проектировании антенн стремятся к уменьшению уровней бокового и заднего излучения. Антенна, являясь пассивным устройством, излучает в пространство несколько меньшую мощность излучения ($P_{изл}$), чем та, что поступает на вход антенны мощность ($P_{вх}$). Это связано с омическими потерями в элементах конструкции антенны. Существуют понятия, коэффициент полезного действия антенны равный

$$\eta = \frac{P_{изл}}{P_{вх}} \tag{1.3}$$

Коэффициент направленного действия показывает, во сколько раз должна быть увеличена излучаемая мощность при замене направленной антенны гипотетической абсолютно ненаправленной антенной, при условии сохранения плотности потока энергии в наблюдаемой точке дальней зоны. Обычно коэффициент направленного действия определяют для направления максимума излучения и обозначают как D[4].

Это – безразмерная величина, равная:

$$D = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \tag{1.4}$$

Где U – интенсивность излучения в ваттах на стерадиан в указанном направлении,

P_{rad} - мощность излучения в ваттах.

Количественной характеристикой согласования антенны с фидерным трактом является величина модуля коэффициента отражения по напряжению |Г|, численно равная отношению амплитуды напряжения отраженной волны $U_{отр}$ к амплитуде напряжения падающей волны $U_{пад}$

$$|\Gamma| = \frac{U_{отр}}{U_{пад}} \tag{1.5}$$

|Г|-изменяется в пределах от 0 до 1. При |Г|=0 тракт идеально согласован (нет отраженной волны). Вследствие наложения падающих и отраженных волн в фидерном тракте устанавливается некоторое распределение напряжения. Характер этого распределения повторяется по длине кабеля L с периодом, $l_к$ – длина волны в кабеле.

Коэффициент стоячей волны — отношение наибольшего значения амплитуды напряженности электрического или магнитного поля стоячей

волны в линии передачи к наименьшему. КСВ рассчитывают следующим образом:

$$\text{КСВ} = 1 / \text{КБВ} = (\text{Uпад} + \text{Uотр}) / (\text{Uпад} - \text{Uотр}) \qquad (1.6)$$

где Uпад и Uотр-амплитуды падающей и отраженной электромагнитных волн.

КСВ измеряется или рассчитывается на определенной длине волны или в диапазоне длин волн. В идеальном случае КСВ = 1, это означает, что отраженная волна отсутствует. При появлении отраженной волны КСВ возрастает в прямой зависимости от степени рассогласования тракта и нагрузки. Значения КСВ до 1,5 считаются приемлемым в УКВ диапазоне. На практике чаще используется коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН). Этот параметр обязательно оговаривается в технических требованиях на передающее устройство. КСВ является обратной величиной к коэффициенту бегущей волны (КБВ). КСВ зависит от многих условий, например:

— Волновое сопротивление СВЧ кабеля и источника СВЧ сигнала
– Неоднородности, спайки в кабелях
– Качество разделки кабеля в СВЧ-соединитель (разъём)
– Наличие переходных соединителей
– Сопротивление антенны в точке подключения кабеля
– Качество изготовления и настройки источника сигнала и потребителя (антенны и др.).

$$\text{КСВН} = (U\text{прям} + U\text{отр} * \text{К})/(U\text{пря} — U\text{отр} * \text{К}) \qquad (1.7)$$

где КСВН - коэффициент стоячей волны по напряжению; Uпрям - измеренное напряжение падающей волны; Uотр - измеренное напряжение отраженной волны; К - коэффициент ослабления отраженной волны.

Полоса пропускания - диапазон частот, в пределах которого амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) акустического, радиотехнического, оптического или механического устройства достаточно равномерна для того, чтобы обеспечить передачу сигнала без существенного искажения его формы.

Входной импеданс антенны (или входное сопротивление антенны) основная характеристика передающей и приёмной антенны, которая определяется как отношение высокочастотного напряжения U и тока питания I.

2. Методы оптимизации характеристик микрополосковых антенн

2.1 Оптимизация положения точки питания

Для оптимизации точки питания используется сеточный алгоритм. Суть алгоритма заключается в делении всего пространства допустимых значений на сетку. Первые возможные значения выбираются случайно, далее идет анализ по 4 направлениям, этот этап показан на рисунке 2.1.

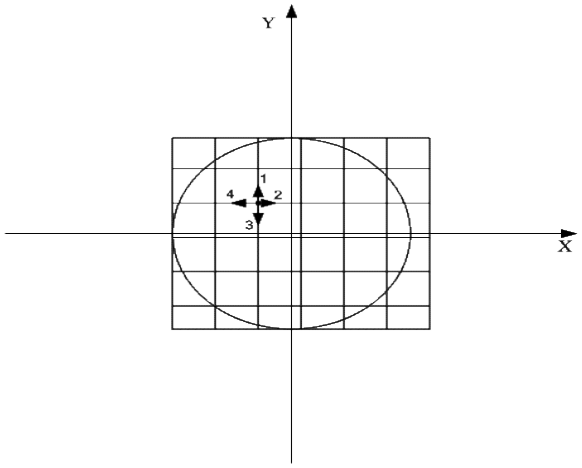


Рисунок 2.1 – Первый этап оптимизации.

В результате первых 4 расчетов полученные значения откладываются на сетке и точка питания сдвигается в сторону больших значений. В данном случаи в сторону значений 3 и 4, сетка к следующим 4 просчетам уточняется. Итерации повторяются до тех пор пока не будет достигнуто оптимальное значение при заданной точности (минимальные заданные размеры клетки сетки). На рисунке 2.2 показана вторая итерация с уточненной сеткой.

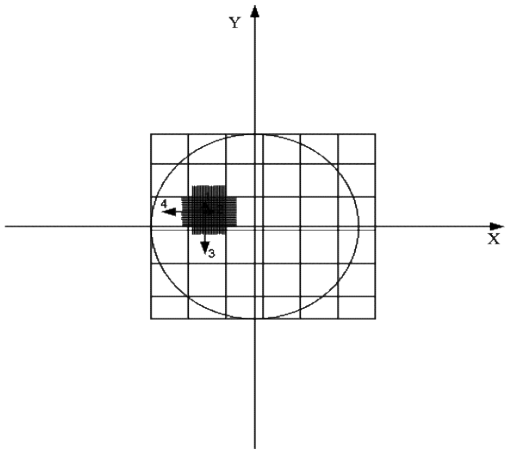


Рисунок 2.2 – Вторая итерация

Согласно алгоритма, показанного на рисунке 2.1 была написана программа на языкеDelphi. Скриншот программы показан на рисунке 2.3.

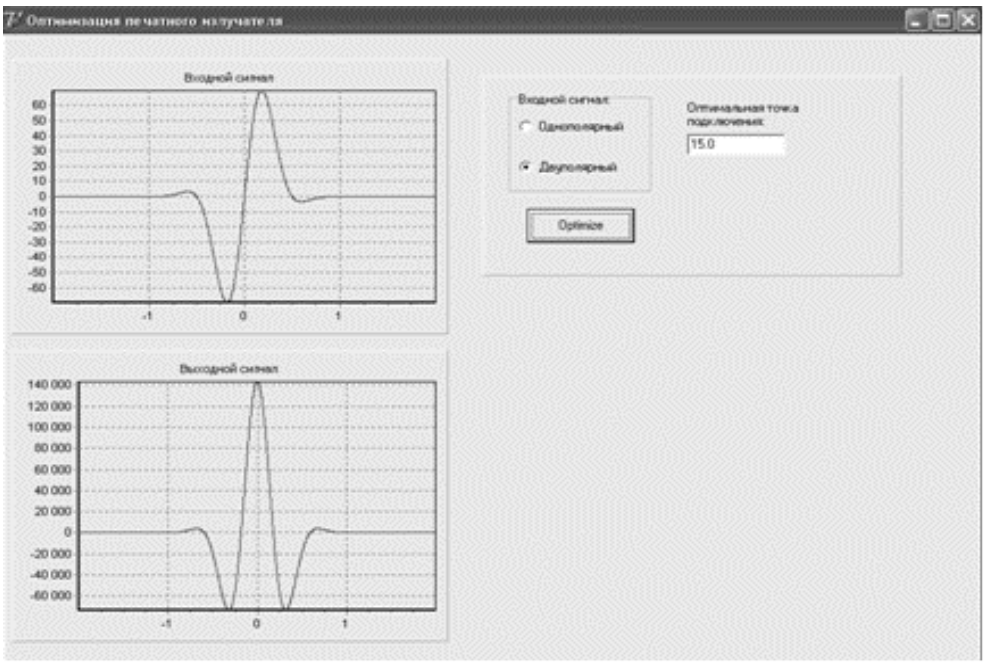


Рисунок 2.3 – Внешний вид программы

По результатам расчетов были построены проекции Е поля на плоскость антенны

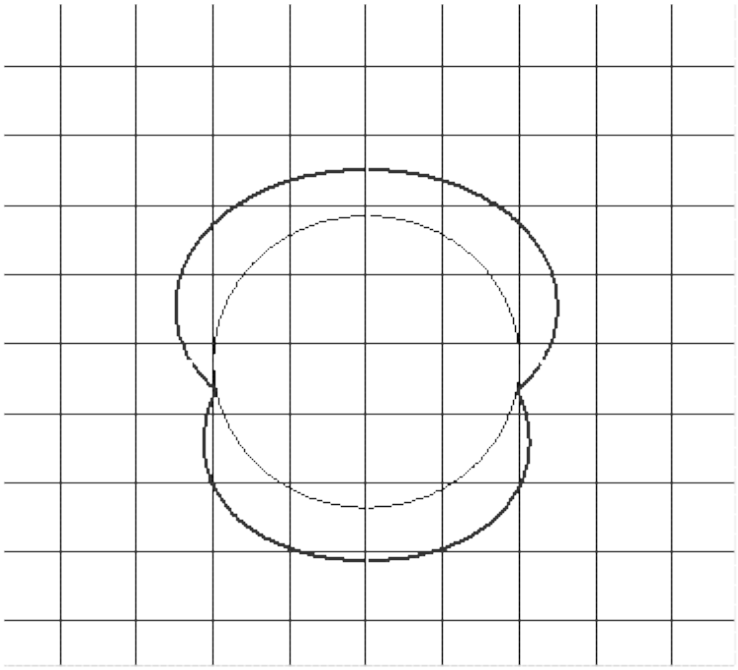


Рисунок 2.4 – Проекции электрического поля круглого излучателя, полученный при помощи модели

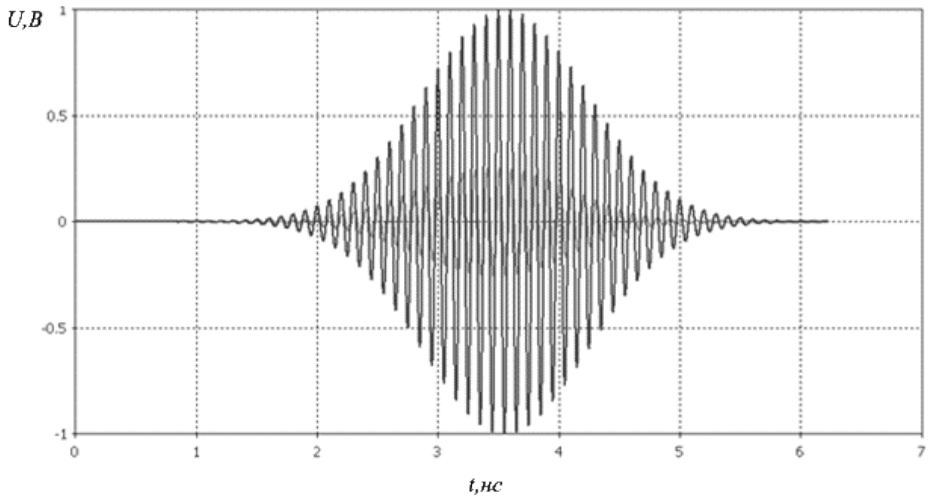


Рисунок 2.5 – Зависимость КСВ излучателя от частоты

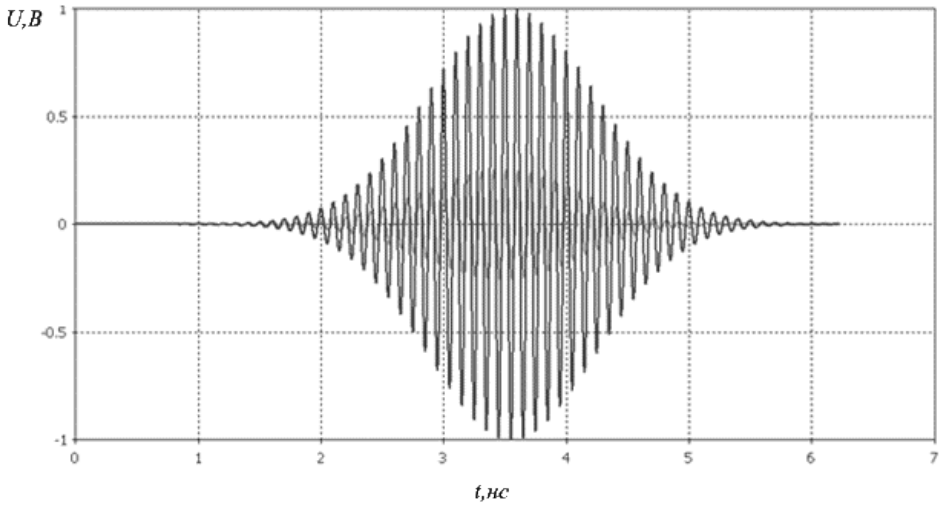


Рисунок 2.6 – Входной сигнал

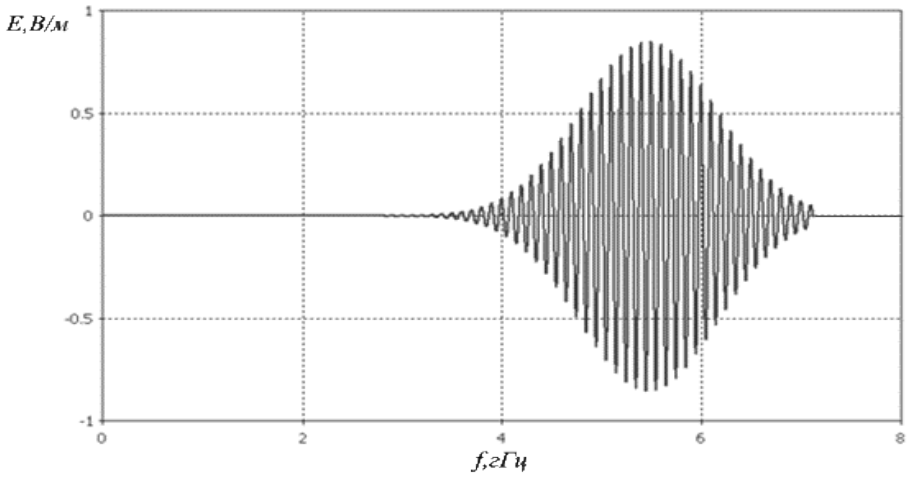


Рисунок 2.7 – Сигнал в пространстве

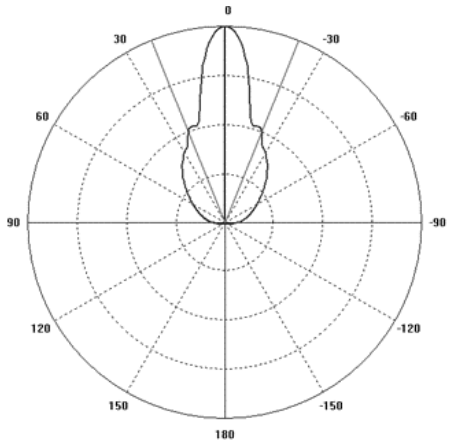


Рисунок 2.8 – Диаграмма направленности приφ=0°

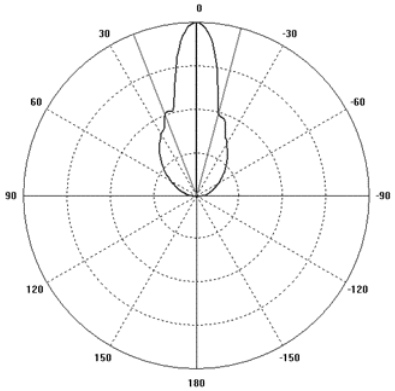


Рисунок 2.9 – Диаграмма направленности приφ=90°

В результате моделирования был получены размеры проектируемого печатного излучателя, удовлетворяющего требованиям рабочего диапазона, характеристики направленности и коэффициента усиления. При помощи предлагаемого алгоритма были уменьшены время разработки и оптимизации.

2.2 Миниатюризация

Печатные антенны (ПА) находят широкое применение в различных радиоэлектронных устройствах и системах благодаря их миниатюрности и высокой технологичности. Особое место среди них занимают антенны круговой поляризации. Интерес к ним обусловлен перспективами их использования в системах спутниковой навигацииGPS, ГЛОНАСС,Galileoи т.д. Антенны круговой поляризации обычно отличаются от аналогичных антенн линейной поляризации большими габаритами и более сложными схемами питания.

В последнее время большую актуальность приобрела задача миниатюризации ПА. Это связано с интенсивным развитием техники персональных радиоэлектронных систем, функционирующих в СВЧ диапазоне: мобильных телефонов, персональных навигаторов, систем

беспроводного доступа в Интернет и т.д. Эти системы работают на частотах 1-2 ГГц.

Классические решения в области ПА, к которым относится, в первую очередь, полуволновая ПА (см. рисунке 2.10) имеют максимальный габаритный размерα, приближенно определяемый следующим соотношением:

$$\alpha = \frac{\lambda}{2\sqrt{\varepsilon}}, \qquad (2.1)$$

гдеλ- длина волны на рабочей частоте,ε- относительная диэлектрическая проницаемость материала, из которого выполнена ПА.

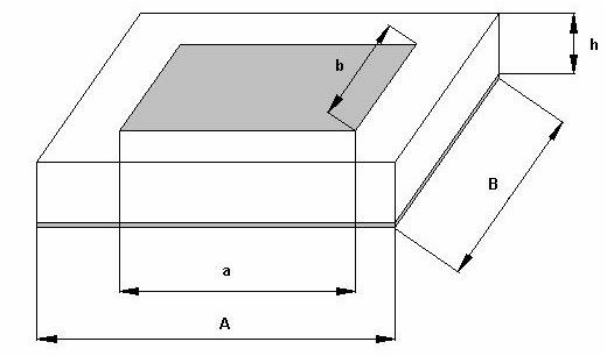


Рисунок 2.10 - Полуволновая ПА

На частотах 1-2 ГГц ПА с малой диэлектрической проницаемостьюε = =2-3 имеют размеры порядка 70-100 мм, что недопустимо в большинстве перечисленных выше приложений. Соотношение (1) показывает один из возможных путей миниатюризации ПА, который состоит в увеличении ε. Другое направление миниатюризации ПА заключается в их «сворачивании». Можно выделить два разных способа сворачивания: сворачивание в плоскости и многослойное сворачивание. Сворачивание в плоскости поясняется на рисунке 2.11.

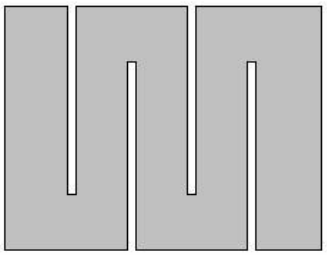


Рисунок 2.11 - ПА свернутая в плоскости

С помощью щелей, выполненных в проводнике ПА, удлиняется путь, который проходят токи от одной кромки проводника до другой. При этом

условие, связывающее размеры ПА с длиной волны и диэлектрической проницаемостьюεочень грубо можно записать следующим образом:

$$a + (n + 1)b = \frac{\lambda}{2\sqrt{\varepsilon}} \tag{2.2}$$

гдеn- число щелей,a,b- габаритные размеры полоскового проводника. Из формулы (2.2) нетрудно увидеть, что в данной конструкции габаритные размеры могут быть существенно уменьшены по сравнению с исходной ПА.

Многослойное сворачивание поясняется на рисунке 2.12. Оно также сводится к удлинению пути протекания токов, однако в данном случае оно достигается за счет увеличения числа слоев, на которых расположены печатные проводники. Соотношение аналогичное (1), (2) теперь имеет следующий вид:

$$(a + h)n = \frac{\lambda}{2\sqrt{\varepsilon}} \tag{2.3}$$

где h - толщина слоя, n - число слоев.

Как следует из формул (2) и (3), в свернутых конструкциях увеличение диэлектрической проницаемости не является необходимым условием уменьшения габаритов ПА, так как миниатюризация обеспечивается исключительно геометрической структурой антенны.

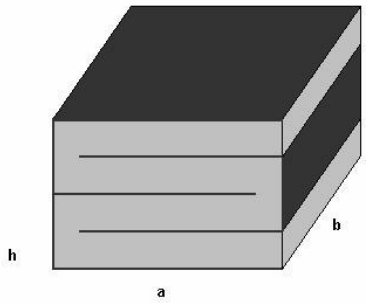


Рисунок 2.12 - Многослойная свернутая ПА

Миниатюрные ПА, построенные по принципу сворачивания в плоскости изучены достаточно хорошо. Многослойные ПА с линейной поляризацией рассматривались в работе. В данной работе исследуются многослойные ПА круговой поляризации. Их конструкции показаны на рисунке 2.11 и 2.12. Позиции на рисунке 2.12 и 2.13 показывают различные элементы ПА. Они имеют одинаковый смысл на обоих рисунках. Перечислим элементы ПА: 1 – нижний диэлектрический слой, 2 – верхний диэлектрический слой, 3 – нижний металлический слой, 4 – средний металлический слой, 5 – верхний металлический слой, 6 – перемычки, 7 – крестообразная щель[29].

Излучение в свободное пространство происходит из верхнего диэлектрического слоя 2 и верхнего металлического слоя 5. При этом тип излучающего элемента определяется формой верхнего металлического слоя 5, которую можно использовать для классификации ПА. Антенну, показанную на рисунке 2.13 будем называть полосковой, а антенну, изображенную на рисунке 2.14 щелевой.

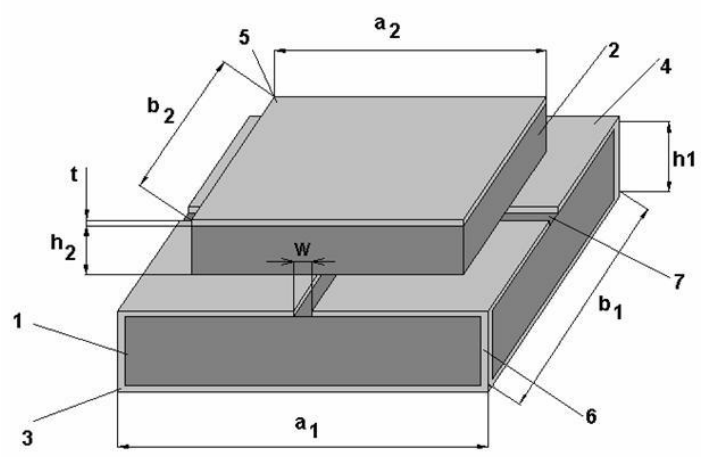


Рисунок 2.13 - Полосковая свернутая ПА

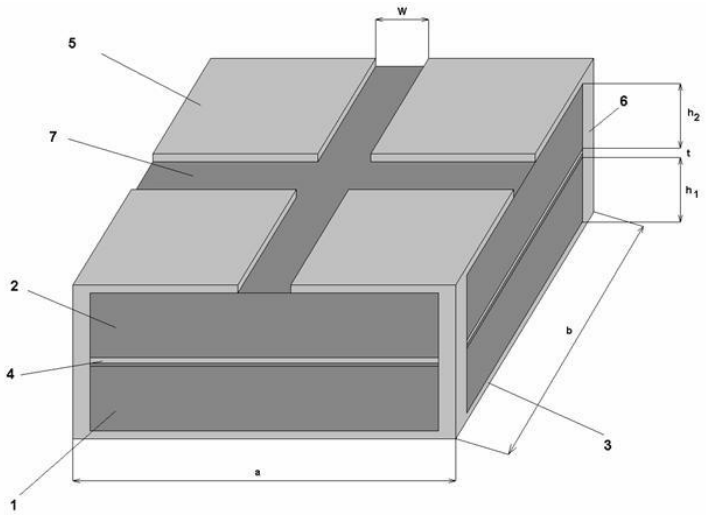


Рисунок 2.14- Щелевая свернутая ПА

Антенны обоих типов имеют сходные принципы функционирования. Они представляют собой объемные резонаторы, в которых могут возбуждаться собственные колебания, излучающие в свободное пространство волны с ортогональными линейными поляризациями. Схема питания антенны обеспечивает возбуждение указанных колебаний с одинаковой амплитудой и сдвигом фаз $\pm 90^{o}$. В этом случае волны двух ортогональных линейных поляризаций формируют в свободном пространстве волну круговой поляризации.

Целью данной работы является исследование описанных выше антенн, их оптимизация и определение достижимых технических характеристик. Изучение ПА включает следующие этапы: анализ собственных колебаний ПА, построение феноменологической модели ПА, построение электродинамической модели ПА и ее численное исследование, экспериментальное исследование ПА[30].

2.3 Увеличение полосы рабочих частот микрополосковых антенн для систем связи

Микрополосковые антенны (МПА) находят широкое применение при создании различных устройств мобильных систем связи: фазированных антенных решеток, базовых станций с секториальными диаграммами направленности, пространственно-разнесенного приема и др. МПА обладают рядом преимуществ в отношении веса, габаритных размеров, стоимости, простоты изготовления. Между тем, одним из типичных недостатков таких структур является их узкополосность. Ограничение полосы происходит из-за резкого рассогласования микрополосковой структуры уже при незначительных расстройках частоты от резонанса . Это является серьезным препятствием для использования подобных структур. Естественный способ увеличения полосы рабочих частот МПА является использование более толстых подложек. Однако при больших значениях толщины подложки имеет место заметное возбуждение поверхностных волн, уменьшающих эффективность излучения. При этом ширина рабочей полосы — не более 7 %. Альтернативные способы позволяют получить ширину полосы рабочих частот до 18—60% и более. К альтернативным способам относятся управление резонансной частотой МПА, реализуемое с помощью p-i-n диодов; а также использование: излучателей сложной формы с U-образной щелью; согласующих элементов (как правило, простой геометрической конфигурации) между зондом и излучателем; пассивных элементов, располагающихся в одной плоскости с излучателем; многослойных (многоэтажных) МПА. МПА представляют собой сложные для теоретического исследования электродинамические системы. Наиболее полную информацию об их характеристиках можно получить, используя строгие численно-аналитические методы прикладной электродинамики. Однако расчет МПА произвольной конфигурации, основанный на строгих методах, очень часто оказывается сложным и громоздким, а порой и невыполнимым из-за трудностей принципиального характера. Выходом из этой ситуации является использование мощных вычислительных алгоритмов, таких как метод конечных элементов, метод Галеркина и пр., реализованных в пакетах прикладных программ — Ansoft HFSS, IE3D, Microwave Office, Microwave Studio и т. д. В работе в качестве вычислительного инструмента использовался пакет программ Ansoft HFSS v. 10, как наиболее точный и подходящий для задач электродинамического анализа трехмерных пассивных структур. К достоинствам HFSS можно отнести реализацию метода конечных

элементов для векторов поля и использование метода автоматического адаптивного генерирования и деления ячеек исследуемой структуры, что, в конечном счете, позволяет с большой точностью вычислять характеристики излучения, например диаграмму направленности (ДН), коэффициент усиления (КУ), а также характеристики согласования с линией питания (фидера): КСВ, входные сопротивления и т.д. Целью работы является исследование возможности увеличения полосы рабочих частот МПА, используя наиболее перспективные способы, описанные выше. Модификация описанного в литературеспособа увеличения рабочих частот за счет использования согласующего элемента (СЭ) позволяет увеличить полосу рабочих частот до 29%. На рисунке 2.15 представлена конструкция МПА (а — схематичное изображение МПА; б — модель МПА в HFSS), демонстрирующая этот способ.

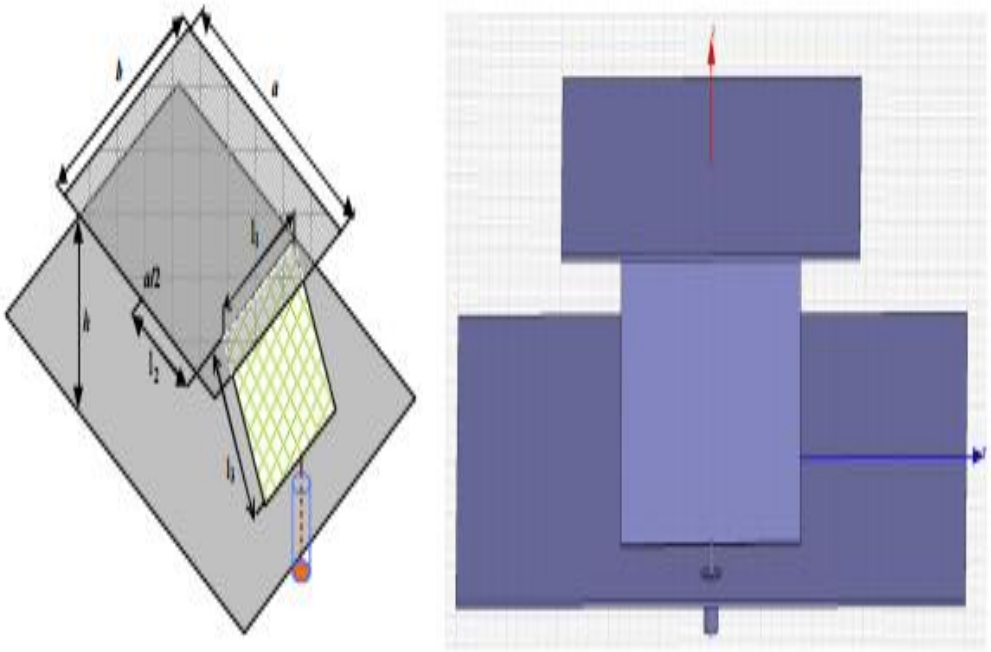


Рисунок 2.15 – Конструкция МПА

В данном способе наиболее важным является выбор точки соприкосновения СЭ с излучателем МПА, кроме того, немаловажно определение размеров самого СЭ. Связано это с тем, что согласование МПА с линией запитки напрямую зависит от обоих этих параметров. Излучатель для такого способа выбирается прямоугольным с размерами (0,57×0,5)λ, размер СЭ не превышает, как правило, величины (0,25—0,3)λ, а расстояние от центра излучателя до точки соприкосновения с СЭ не превышает 0,2λ. Для частоты f = 2, Ю5 ГГц оптимальными являются следующие размеры: a=59,8 мм, b=67,9 мм, h=25 мм, l1=35,2 мм, l2=23,9 мм, l3=30,3 мм. Относительная ширина полосы рабочих ( ) 2 1 1 2 1 0 2/ / f f f f f f f − + − Δ = по уровню КСВ=2 равна

29% (рис. 2.16) (f0=2,5 ГГц, f1=2,07 ГГц, f2=2,77 ГГц). Поверхностные токи распределены по всему излучателю, однако максимальная концентрация наблюдается у его краев (рисунок 2.16).

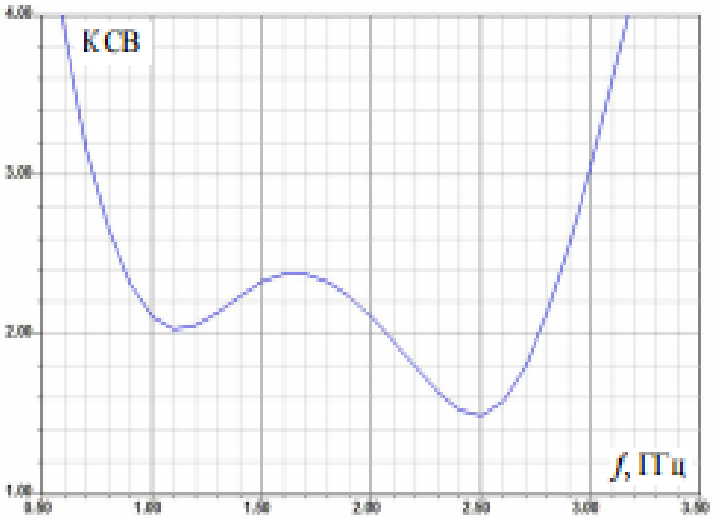


Рисунок 2.16 – Схема поверхности токов

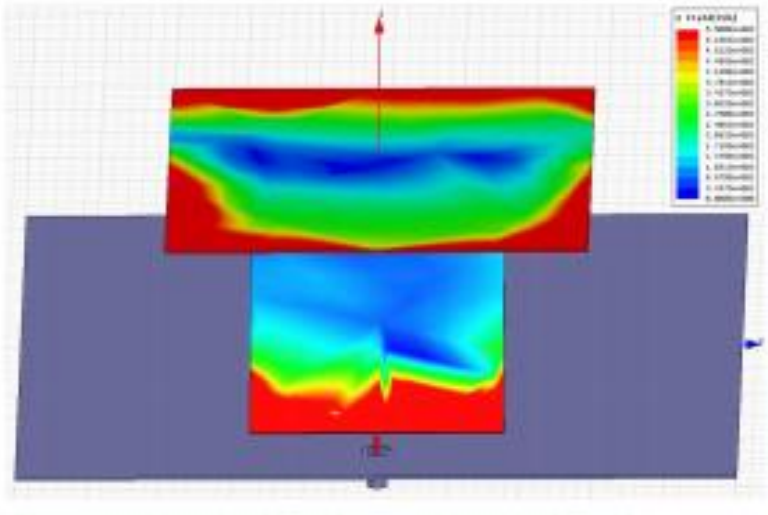


Рисунок 2.17 - Распределение по поверности токов

В качестве характеристик излучения будем рассматривать коэффициент направленного действия (КНД), который определяется как выигрыш излучаемой мощности данной антенны по сравнению с излучаемой мощностью изотропного излучателя, а также коэффициент полезного действия антенны, который определяется отношением мощности, излучаемой антенной, к мощности, подводимой к ее входу. Для конструкции,

изображенной на рисунке 2.17, максимальное значение КНД для объемной ДН равно 2,44 и КПД=0,98. Объемная ДН на частоте f=2,5 ГГц МПА представлена на рисунке 2.17. На рисунке 2.18, а и б представлены ДН в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

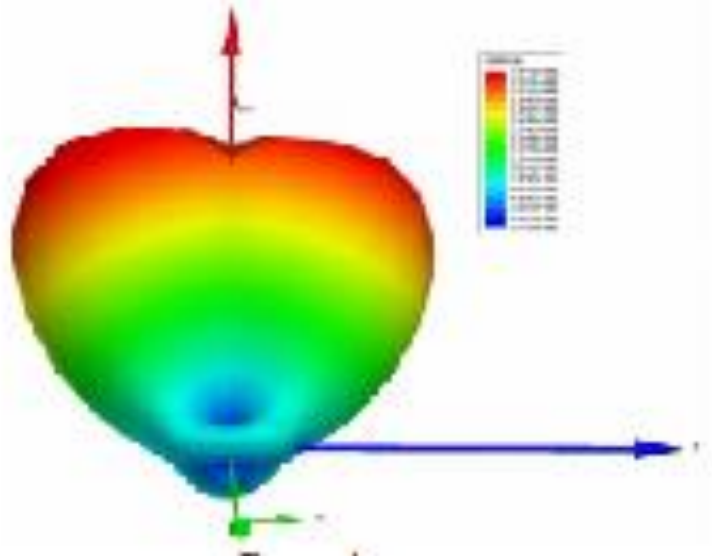


Рисунок 2.18 – Диаграмма направленности

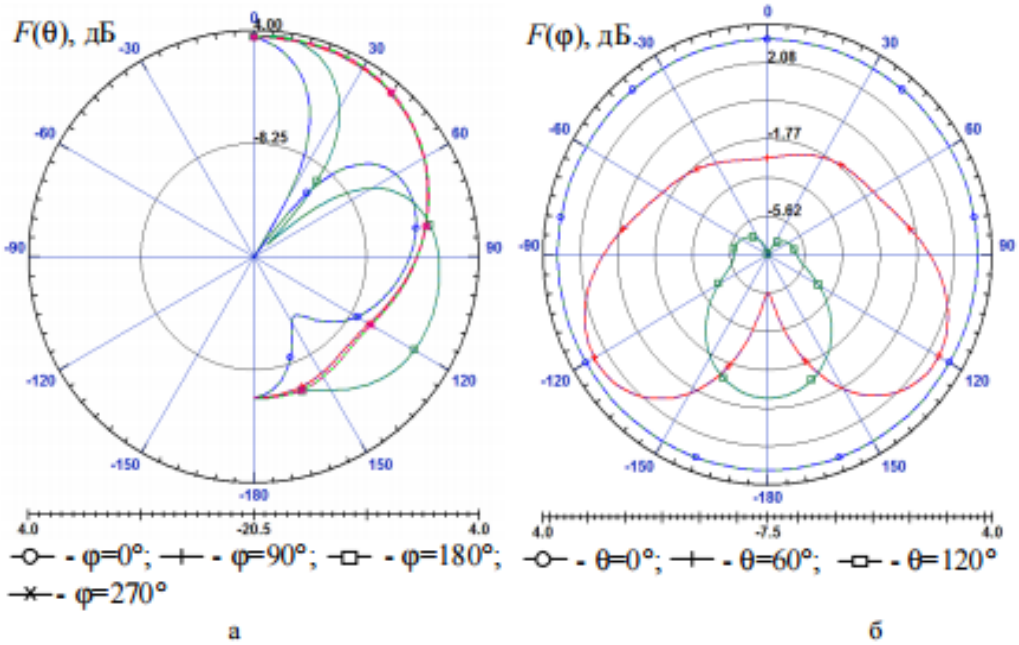


Рисунок 2.19 – ДН в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Характер распределения поверхностных токов на поверхности излучателя (рисунке 2.19) позволяет применить способ увеличения полосы рабочих частот, заключающийся в добавлении щелей сложной конфигурации на поверхности излучателя. В качестве щели сложной формы выберем щель в

виде «бабочки» (рисунке 2.20). В общем случае щель сложной формы можно представить суперпозицией более простых геометрических объектов. В случае щели в виде «бабочки» в качестве простого объекта выступает треугольник со сторонами m, n, k и высотой g.

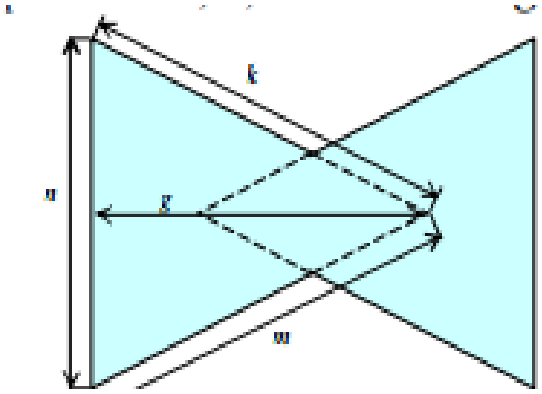


Рисунок 2.20 - Щели ввиде «бабочки »

Полоса рабочих частот зависит от размеров сторон треугольника. Для исследования будем использовать щель в виде симметричной «бабочки». В этом случае треугольник будет равнобедренным и для описания исследуемой щели достаточно двух величин n и g. На рисунке 2.21 приведена конструкция МПА с величинами n и g, которые лежат в диапазоне (0,2—0,22)λ.

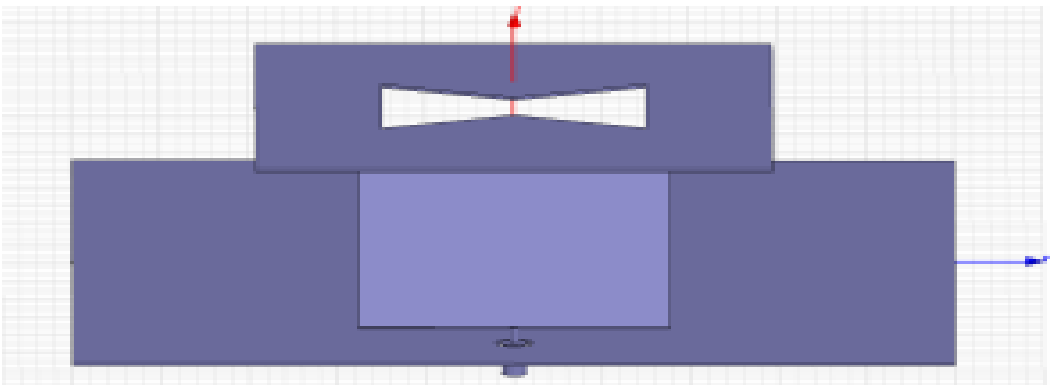


Рисунок 2.21 – Конструкция МПА с величинами n и g, которые лежат в диапазоне

Для частоты f=2,5 ГГц оптимальной является щель, расположенная по центру излучателя с размерами: n = 24 мм , g = 25 мм . В этом случае относительная ширина полосы рабочих частот 0 Δf / f по уровню КСВ=2 увеличивается до 55% (рисунок 2.22) (f0=2,5 ГГц, f1=1,66 ГГц, f2=2,92 ГГц). Характерное распределение токов (рисунок 2.23) по поверхности излучателя сохраняется, однако наблюдается затекание токов на края щели и, следовательно, наблюдается деформация ДН КНДmax=2,13, КПД=0,99.

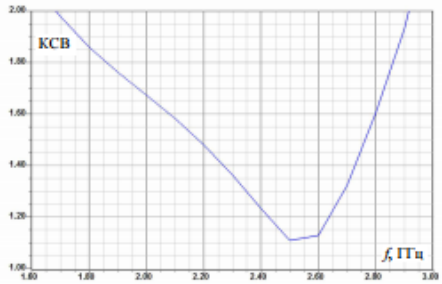


Рисунок 2.22 – Распределение токов

Плоскостные ДН в вертикальной и горизонтальной плоскостях этого излучателя представлены на рисунке , а и б соответственно.

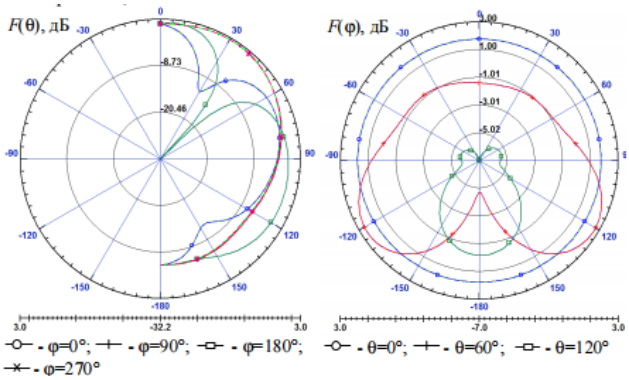


Рисунок 2.23 - ДН в вертикальной и горизонтальной плоскостях

Увеличение или уменьшение размеров щели такой формы приводит к негативным последствиям — полоса рабочих частот резко сужается, а в случае увеличения n и g происходит еще и сильная деформация ДН. Такая ситуация уже наблюдается при n = 54 мм , g = 35 мм . На рисунке 2.24 представлена объемная ДН, а на рисунке 2.24 , а и б — плоскостные ДН такого излучателя[31].

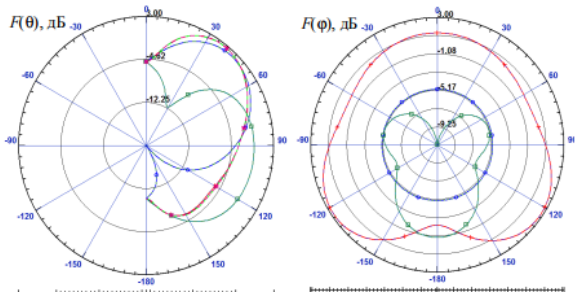


Рисунок 2.24 – ДН плоскостные

В качестве другого способа увеличения полосы рабочих частот выберем прямоугольную форму щели сравнительно небольшого размера в пределах (0,22— 0,25)λ и равномерно распределим их по поверхности излучателя (рисунке 2.25).

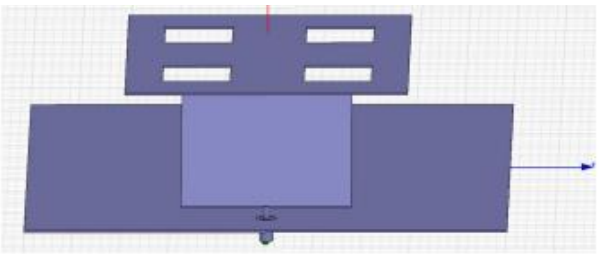


Рисунок 2.25 - Увеличения полосы рабочих частот

Относительная ширина полосы рабочих частот 0 Δf / f по уровню КСВ=2 в этом случае равна 96%. (f0=2,5 ГГц, f1=1,63 ГГц, f2=2,83 ГГц). Характер распределения поверхностных токов сохраняется (рисунке 2.26).

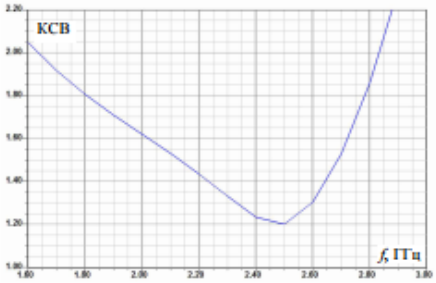


Рисунок 2.26 – Распределение токов

Такой излучатель имеет КНДmax=2,41 и КПД=0,98. В связи с тем что прямо- угольные щели распределены равномерно и поверхностные токи сосредоточены у краев (рисунке 2.27) ДН практически не искажается (рисунке 2.27). Плоскостные ДН в вертикальной и горизонтальной плоскостях представлены на рисунке 2.28

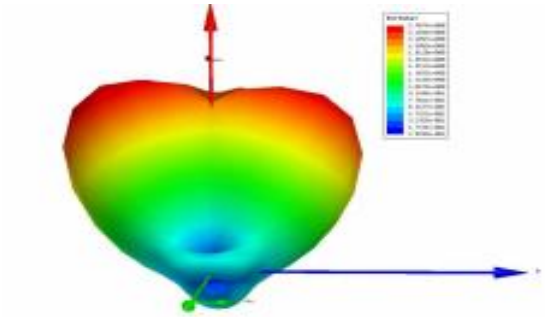


Рисунок 2.27 – Диаграмма направленности

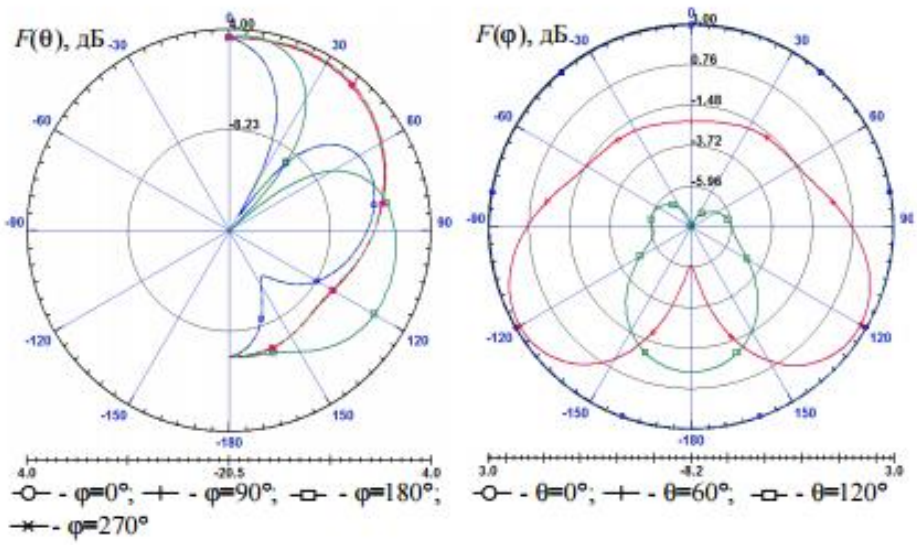


Рисунок 2.28 – Плоскостные ДН в вертикальной и горизонтальной плоскостях

Увеличение количества прямоугольных вырезов приводит к уменьшению полосы рабочих частот из-за сложного распределения поверхностных токов. На рисунке 2.29 представлена МПА с 36 прямоугольными щелями.

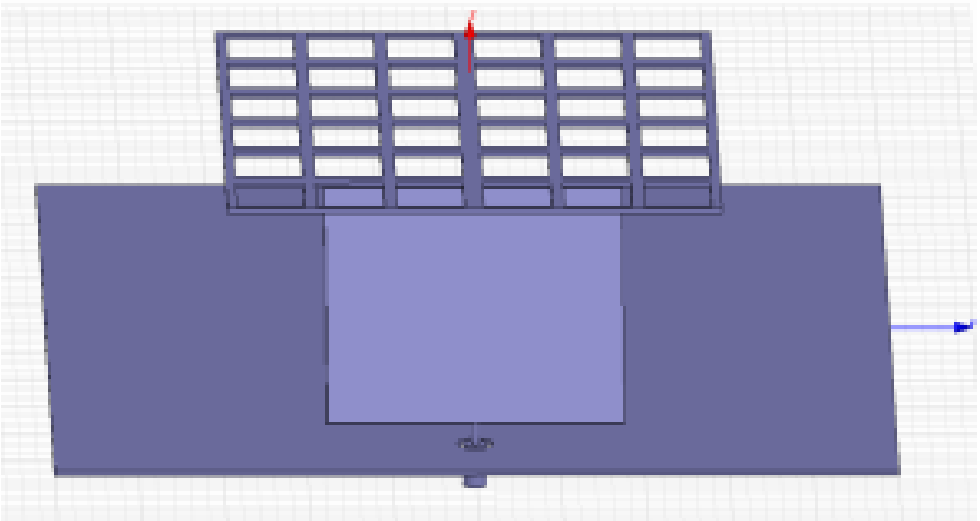


Рисунок 2.29- МПА с 36 прямоугольными щелями

Для такой МПА относительная ширина полосы рабочих частот 0 Δf / f по уровню КСВ=2 уменьшается до 51% (рисунок 2.30) (f0=2,5 ГГц, f1=1,7 ГГц, f2=2,85 ГГц). В основном сужение полосы происходит за счет низких частот ((1,63—1,85) МГц). Поверхностные токи уже имеют сложное распределение (рисунок 2.30).

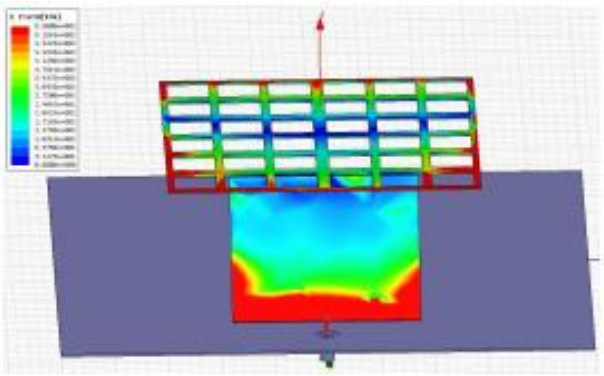


Рисунок 2.30 – Поверхности токов

Такой излучатель имеет КНДmax=2,42 и КПД=0,97. Объемная ДН такой МПА представлена а плоскостные ДН в вертикальной и горизонтальной плоскостях — на рисунке 2.31, а и б.

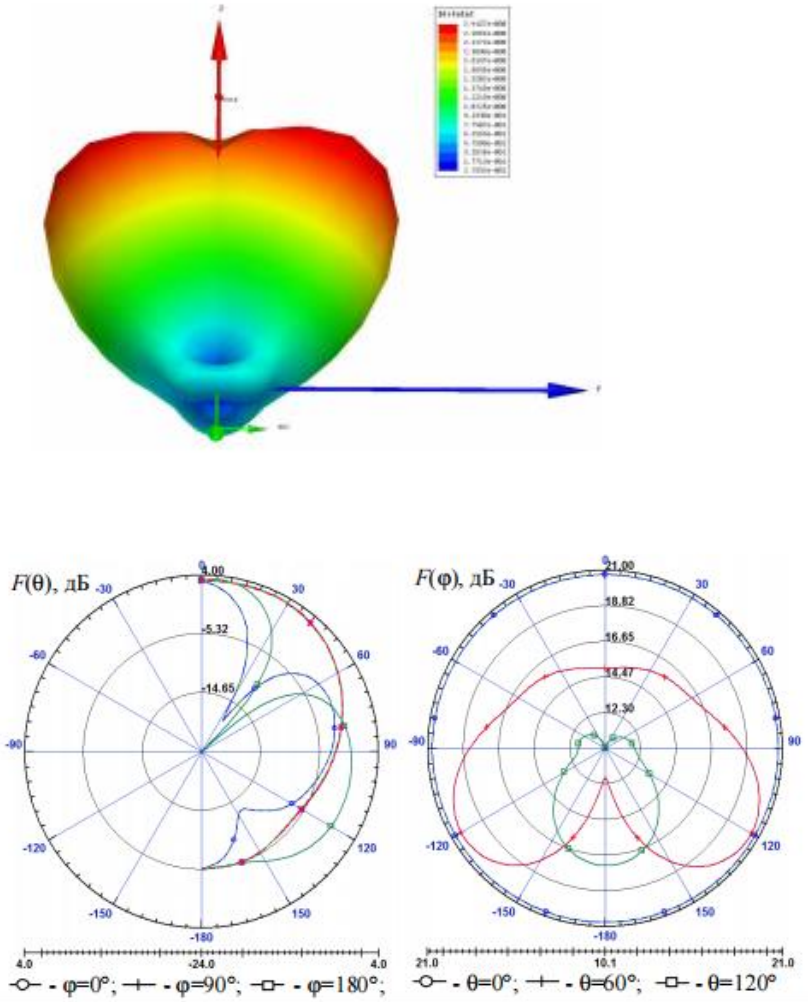


Рисунок 2.31- Объемная диаграмма направленности МПА

Вывод: В данной главе были приведены методы оптимизации характеристик микрополосковых антенн. Это оптимизации положения точки питания, минитюризации и увеличение полосы рабочих частот микрополосковых антенн для систем связи.

Проанализированы некоторые способы увеличения полосы рабочих частот микрополосковых антенн. Получена конструкция с относительной шириной рабочих частот Δf / f0=96%.

Рассмотрены ПА которые включает следующие этапы: анализ собственных колебаний ПА, построение феноменологической модели ПА, построение электродинамической модели ПА и ее численное исследование, экспериментальное исследование ПА [32].

3 Расчет характеристик направленных планарных антенн

В данном разделе проведем расчет основных характеристик планарных антенн и проведем анализ полученных результатов. К основным характеристикам относятся: диаграмма направленности, входное сопротивление, волновое сопротивление.

3.1 Увеличение зоны покрытия

Планарные антенны способны увеличить зону покрытия. Это приобретает особую важность на неплотно заселенных территориях, где увеличение покрытия часто является ключевым фактором. Увеличение зоны покрытия происходит в первую очередь за счет того факта, что несколько антенн способно принять больше энергии передаваемого сигнала.

В однородной среде распространения максимальная дальность передачи-приема одинакова во всех направлениях и может быть описана следующей формулой:

$$A_c = \pi R^2 \tag{3.1}$$

где A_c - площадь покрытия и R^2 - максимальная дальность приема-передачи. Представленная формула является грубой оценкой реальной среды, в которой ландшафт, застройка, растительность влияют на распространение и тем самым вносят корректировки в эту формулу. Тем не менее, указанная формула является приемлемой оценкой принципиального эффекта внедрения адаптивных антенн.

Приближенную зависимость площади покрытия от коэффициента усиления антенны может быть получена из экспоненциальной модели распространения. В соответствии с этой моделью, мощность сигнала на приемнике может быть описана следующей формулой:

$$P_r = P_t G_t G_r PL(d_0)(\frac{R}{d_0})^{-\gamma} \tag{3.2}$$

где P_t - мощность сигнала на передатчике;

G_t и G_r - коэффициенты усиления передающей и приемной антенн соответственно;

$PL(d_0)$ - это потери при распространении в свободном пространстве на каком-то фиксированном расстоянии от передатчика (обычно порядка 1 км. для сотовых систем;

R - дальность передачи-приема, в таких же единицах, что и d_0;

γ - экспонента потерь, обычно от 3 до 4.

В этой модели подразумевается, что $R \geq d_0$

Эта формула может быть переписана следующим образом:

$$R = d_0\left(\frac{P_t G_t G_r PL(d_0)}{P_r}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \tag{3.3}$$

и, используя (3.1), зависимость зоны покрытия от коэффициента усиления антенны будет выглядеть как

$$A_c \infty\, G^{\frac{2}{\gamma}} \tag{3.4}$$

где G - это коэффициент усиления приемной или передающей антенны, если коэффициент усиления другой антенны не меняется.

Рассчитаем увеличение зоны покрытия:

Базовая станция, использующая всенаправленную антенну, способна покрыть площадь $A_{c.omnl} = 50$ км^2. Кроме того, примем, что коэффициент потерь распространения измерен и может быть аппроксимирован модель распространения с экспонентой γ =3.5, что является усредненным значением.

Если вместо ненаправленной антенны использовать планарную антенную систему с дополнительным усилением 6 дБ, тогда, на основании (3.2), система может покрыть площадь:

$$A_{c.adapt} = A_{c.omnl}\left(\frac{G_{adapt}}{G_{omnl}}\right)^{\frac{2}{\gamma}} \tag{3.5}$$

то есть, в нашем случае:

$$A_{c.adapt} = 50 * 4^{\left(\frac{2}{3.5}\right)} = 110{,}4 \text{ км}^2 \tag{3.6}$$

Относительное увеличение зоны покрытия составляет:

$$n = \frac{A_{c.adapt}}{A_{c.omnl}} = \frac{110{,}4}{50} = 2{,}2 \text{ раза} \tag{3.7}$$

Увеличение зоны покрытия имеет важное значение в сельской местности, где плотность населения низкая и желательно покрыть наибольшую площадь при помощи наименьшего количества базовых станций. Если плотность населения высокая, просто увеличивать зону покрытия в результате даст нам больше абонентов в одной соте, чем базовая станция может обслужить со своим ограниченным числом каналов. В этом случае, увеличение дальности связи будет иметь практическую выгоду лишь в том случае, если будут применены методы, обсуждаемые далее (SDMA).

3.1.1 Увеличение емкости. Емкость зависит от спектральной эффективности системы, также к количеству трафика, генерируемом каждым абонентом. Спектральная эффективность *E*, измеряемая в каналы/км^2/МГц, может быть выражена следующей формулой:

$$E = \frac{B_t/B_{ch}}{B_t N_c A_c} = \frac{1}{B_{ch} N_c A_c} \tag{3.8}$$

где B_t - ширина полосы (полоса пропускания) доступная для голосовых каналов (передача или прием), в МГц;

B_{ch}- ширина каждого голосового канала, в МГц;

N_c- количество сот в кластере;

A_c- площадь каждой соты в квадратных километрах.

Емкость системы измеряется в каналы/км^2 и может быть найдена по формуле:

$$C = EB_t = \frac{B_t}{B_{ch} N_c A_c} = \frac{N_{ch}}{N_c A_c} \tag{3.9}$$

где $N_{ch} = \frac{B_t}{B_{ch}}$ - общее количество доступных передающих или приемных каналов в системе. Реальное количество абонентов, которое может быть обслужено, рассчитывается на основе трафика, производимого каждым абонентом и количеством каналов в соте.

Из формулы (3.9) видно, что емкость может быть увеличена несколькими способами.В их число входит увеличение общей ширины полосы пропускания, выделенной системе, уменьшать ширину полосы канала при помощи эффективной модуляции, уменьшать количество сот в кластере, и уменьшать площадь соты путем их разбиения. Если каким-то образом один радиочастотный канал может использовать более 1 пользователя, это тоже увеличит емкость [33].

Рассмотрим несколько путей увеличения емкости.

а) Уменьшение/исключение интерференции

На плотно заселенных территориях, увеличение емкости – задача первостепенной важности. Два родственных подхода – это уменьшить интерференцию на линии базовая станция – мобильное устройство (БС – МУ) или на линии МУ-БС. Чтобы уменьшить интерференцию, лепестки

диаграммы направленности ориентируются по направлению на МУ. Интерференция мобильных устройств, использующих один РЧ канал происходит лишь в том случае, когда те находятся внутри узкого лепестка диаграммы.

Этот недостаток может быть решен при помощи передачи мобильного устройства внутри его текущего канала на другой канал, не испытывающий интерференцию по одному каналу.

Рассчитаем увеличение емкости, получаемое в результате снижения интерференции.

Базовая станция с ненаправленной антенной имеет емкость $N_{ch} = 280$ каналов и использует семикратное использование частоты ($N_c = 7$).

Каждая сота покрывает площадь $A_c = 50$ км^2. Используя (3.9) , емкость такой системы может определяться как $C_{omnl} = \frac{280}{7*50} = 0{,}8$ каналов/км^2.

Используя планарные антенные системы, интерференция внутри канала может быть уменьшена и $N_c = 4$. Новая емкость определяется следующим образом:

$$C_{adapt} = \frac{280}{4*50} = 1{,}4 \text{ каналов/км}^2$$

Рассчитаем относительное увеличение емкости за счет организации SDMA:

$$n = \frac{C_{adapt}}{C_{omnl}} = \frac{1{,}4}{0{,}8} = 1{,}75 \text{ раз} \quad (3.10)$$

б) SDMA

Существует еще следующий подход – множественный доступ с пространственным разделением каналов (SDMA, Spatial division multiple access). Это достигается использованием высоконаправленным лучом и/или формированием нулей во всех направлениях кроме одного. Тем самым базовая станция создает множественные каналы одной частоты, но разделенные в пространстве.

В случае, если возможно осуществить SDMA, спектральная эффективность резко увеличивается. В этом случае спектральная эффективность будет находиться по формуле:

$$E = \frac{N_{SDMA}}{B_{ch} N_c A_c} \quad (3.11)$$

Соответственно, емкость будет находиться по следующей формуле:

$$C = \frac{N_{SDMA} B_t}{B_{ch} N_c A_c} = \frac{N_{SDMA} N_{ch}}{N_c A_c} \quad (3.12)$$

где N_{SDMA} - среднее количество одновременных пространственных каналов на один радиочастотный канал.

Если в системе реализовано семикратное использование частоты, N_{SDMA} пользователей могут занимать один радиочастотный канал. Результирующая емкость будет следующая:

$$C_{SDMA} = \frac{1{,}5*280}{7*50} = 1{,}2 \text{ каналов/км}^2, \quad (3.13)$$

Рассчитаем относительное увеличение емкости за счет организации SDMA:

$$n = \frac{C_{SDMA}}{C_{omnl}} = \frac{1{,}2}{0{,}8} = 1{,}5 \text{ раза} \quad (3.14)$$

Примечательно, что SDMA может быть использовано в комбинации с существующими методами множественного доступа, такие как TDMA и CDMA.

Увеличение дальности покрытия, уменьшение интерференции и SDMA могут быть использованы отдельно или в различных комбинациях, в зависимости от конкретной системы. Уменьшение интерференции используя один узкий луч на каждый канал или пространственное разделение каналов используя множество лучей на канал являются в некотором смысле противоречивыми подходами. В некоторых случаях желательно комбинировать их в разных приложениях, но максимальная выгода этих подходов не может быть достигнута одновременно. К примеру, если максимально использовать SDMA, то базовая станция будет передавать во многих направленных лучах с полным покрытием $360°$. Уменьшение интерференции не будет достигнуто, потому что энергия будет распространяться во всех направлениях, и все соседние соты того-же самого канала будут испытывать интерференцию. Наоборот, если система использует уменьшенный фактор использования частоты, SDMA не может быть полностью внедрена без увеличения отношения сигнал/интерференция до неприемлемого уровня. На практике различные комбинации описанных методов используются в зависимости от конкретных целей, поставленных перед базовой станцией. Особую роль здесь приобретает управление адаптивной антенной решеткой, в частности адаптивные алгоритмы и критерии, по которому они построены. Некоторые из этих алгоритмов рассмотрены далее в работе.

3.2 Расчет волнового сопротивления

Волновое сопротивление планарной антенны, работающее в режиме бегущей волны, называется характеристический параметр линии отношение напряжения к току в любой точке линии.

В СВЧ линиях понятия тока и напряжения играют второстепенную роль. Основным является понятие электромагнитного поля. Параметр линии Z часто называют характеристическим сопротивлением или характеристическим импедансом. Волновое сопротивление влияет на ширину полосы пропускания.

Трудно реализовать полосковую линию с большим волновым сопротивлением, т.к с увеличением волнового сопротивления ширина полоски становится малой, что резко возрастают потери в проводнике.

Волновое сопротивление можно увеличить, при понижении ε. В тех случаях когда потери на излучение микрополоска оказываются большими, нужно применять специальный экран.

Формула волнового сопротивления имеет вид:

$$Zc = \frac{375 \times d}{\sqrt{\varepsilon} \times b \times (1 + 1.735 \times \varepsilon^{-0.0724} \times \frac{b}{d})^{-0.836}} \qquad (3.15\ )$$

Рассчитываем волновое сопротивление для первой антенны:

$$Zc = \frac{375 \times 0.003}{\sqrt{2.4} \times 0.0057 \times (1 + 1.735 \times 2.4^{-0.0724} \times \frac{0.0057}{0.003})^{-0.836}}$$

Z_c =27 (Ом).

Рассчитываем волновое сопротивление для второй антенны:

$$c = \frac{375 \times 0.003}{\sqrt{5} \times 0.002 \times (1 + 1.735 \times 5^{-0.0724} \times \frac{0.002}{0.003})^{-0.836}}$$

Z_c=18 (Ом).

Рассчитываем волновое сопротивление для третьей антенны:

$$Zc = \frac{375 \times 0.003}{\sqrt{7} \times 0.023 \times (1 + 1.735 \times 7^{-0.0724} \times \frac{0.023}{0.003})^{-0.836}}$$

Z_c=10 (Ом).

3.2.1 Расчет входного сопротивления. Антенна представляет для генератора некоторую нагрузку; для количественной характеристики этой нагрузки необходимо знать входное сопротивление антенны. Входное сопротивление микрополосковой антенны определяется отношением напряжения к току в точках питания и является важным параметром, определяющим возможность согласования входа антенны в нужной полосе частот.

3.3 Расчет коффициента затухания в микрополосковых антеннах

В микрополосковых антеннах важным параметром является коэффициент затухания на единицу длины волны.

Суммарные потери полосковой линии, определяются коэффициентом затухания, складываются из двух составляющих – потери в проводнике и диэлектрике.

$$a = am + ad \tag{3.16}$$

Потери в проводниках определяются возрастанием индуктивности, обусловленные проникновением магнитного поля в проводник. Для полосковой линии потери рассчитываются по формуле:

$$am = \frac{0{,}0114\sqrt{q*f*\varepsilon}\left[\frac{1+b\left[\frac{0{,}5+0{,}669\frac{a}{h}-0{,}255\left(\frac{a}{h}\right)^2+\ln\left(\frac{4\pi\frac{h}{a}}{2\pi}\right)}{h}\right]}{Z\sqrt{\varepsilon}}\right]}{b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.17)$$

$$ad = 91\sqrt{\varepsilon} * 10^{-3} \tag{3.18}$$

$$ad = 91\sqrt{2{,}4} * 10^{-3}$$

Расчет коэффициента затухания для первой антенны:

$$am = \frac{0{,}0114\sqrt{0{,}941*2{,}4*10^9*2{,}5}\left[\frac{1+0{,}02\left[\frac{0{,}5+0{,}669\frac{0.1}{0{,}03}-0{,}255\left(\frac{0{,}1}{0{,}03}\right)^2+\ln\left(\frac{4\pi\frac{0{,}03}{0{,}1}}{2\pi}\right)}{0{,}03}\right]}{65{,}5\sqrt{2{,}5}}\right]}{0{,}02}$$

am= 0.19 (дБ/м);
ad = 0.11 (дБ/м);
a=0.3(дБ/м).

Расчет коэффициента затухания второй планарной антенны

$$am = \frac{0{,}0114\sqrt{0{,}941 * 2{,}4 * 10^9 * 5}\left[\frac{1 + 0{,}02\left[\frac{0{,}5 + 0{,}669\frac{0.1}{0{,}03} - 0{,}255\left(\frac{0{,}1}{0{,}03}\right)^2 + \ln\left(\frac{4\pi\frac{0{,}03}{0{,}1}}{2\pi}\right)}{0{,}03}\right]}{53\sqrt{5}}\right]}{0{,}04}$$

am = 0.29 (дБ/м);
ad = $91\sqrt{\varepsilon} * 10^{-3}$;
ad = $91 * 5 * 10^{-3}$;
ad = 0.15 (дБ/м);
a = 0.44 (дБ/м).

Расчет коэффициента затухания третьей планарной антенны

$$am = \frac{0{,}0114\sqrt{0{,}941 * 2{,}4 * 10^9 * 5}\left[\frac{1 + 0{,}02\left[\frac{0{,}5 + 0{,}669\frac{0.1}{0{,}03} - 0{,}255\left(\frac{0{,}1}{0{,}03}\right)^2 + \ln\left(\frac{4\pi\frac{0{,}03}{0{,}1}}{2\pi}\right)}{0{,}03}\right]}{42{,}3\sqrt{7}}\right]}{0{,}06}$$

am = 0.34 (дБ/м);
ad = $91\sqrt{7 *} 10^{-3}$;
ad = 0.32 (дБ/м);
a = 0.66(дБ/м).

3.3.1 Добротность в микрополосковой линии

Добротность в микрополосковой линии определяется потерями в полупроводниковой подложке

$$Q = \sqrt{1 + 6{,}27\left(\frac{\pi}{8} - \frac{b}{d-t}\right)^2} \quad (3.19)$$

$$Q = \sqrt{1 + 6{,}27\left(\frac{\pi}{8} - \frac{0{,}02}{0{,}003 - 0{,}001}\right)^2}$$

Q = 24;

$$Q = \sqrt{1 + 6{,}27\left(\frac{\pi}{8} - \frac{0{,}04}{0{,}003 - 0{,}007}\right)^2}$$

Q = 20;

$$Q = \sqrt{1 + 6{,}27\left(\frac{\pi}{8} - \frac{0{,}06}{0{,}003 - 0{,}025}\right)^2}$$

Q = 8.

3.3.2 Расчет предельной мощности. Мощность при которой возникает высокочастотный пробой полосковой линии называется предельной. Одним из способов повышения уровня предельной допускаемой мощности является использование в качестве подложки микрополосковой антенны линии материалов с большей теплопроводимостью (типа нитрида бора, окиси бериллия).

$$P_{max} = \frac{K_t * T * 10^2}{L} * \frac{h}{i} \quad (3.20)$$

где, Kt– коэффициент теплопроводности, Вт/(м °С);
T – допускаемый температурный перегрев.

$$P_{max} = \frac{0.21 * 85 * 10^2}{0{,}01} * \frac{0{,}855 * 10^{-3}}{0{,}008}$$

Pmax = 9 (мВт);

$$P_{max} = \frac{K_t * T * 10^2}{a} * \frac{W}{b}$$

Pmax = 9.2 (мВт);

$$P_{max} = \frac{0.21 * 85 * 10^2}{0,035} * \frac{0,855 * 10^3}{0,03}$$

Pmax = 10.4 (мВт).

3.4Расчет диаграммы направленности слабонаправленных прямоугольных планарных антенн.

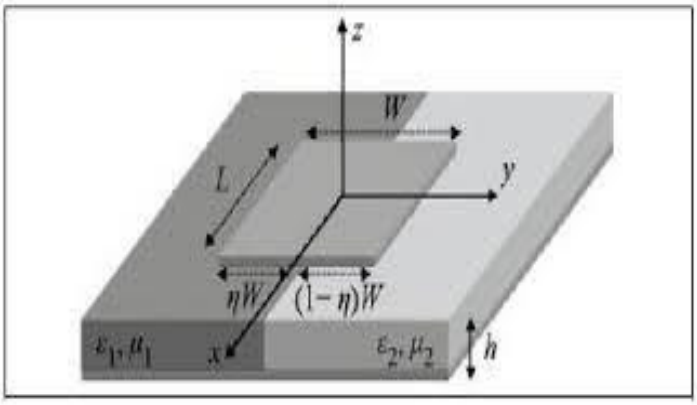


Рисунок 3.1 - Печатная прямоугольная антенна

Таблица 3.1 - Параметры слабонаправленной планарной антенны

Параметры	Первая антенна	Вторая антенна
Ширина линии l, м	0.008	0.003
Длина линии L, м	0.01	0.009
Волновое число к,рад/м	50.24	50.24
Ширина слоя диэлектрика h, м	0.855×10^{-3}	0.855×10^{-3}
Диэлектрическая проницаемость ε	2.5	5

Диаграмма направленности для слабонаправленных волн в плоскости E

$$F(\varphi) = \frac{2*\cos(\varphi)*\cos(\frac{kL}{2}*\sin(\varphi))}{\sqrt{(\varepsilon-\sin^2)+(\varepsilon*\cos(\varphi)*\frac{1}{\tan\left(\frac{1}{(\sqrt{(\varepsilon-\sin^2)}*k*d)}\right)^2}}} * \frac{\varepsilon}{\sqrt{\varepsilon-\sin(\varphi)^2}} \quad (3.21)$$

Диаграмма направленности для слабонаправленных волн в плоскости H

$$F(\theta) = \frac{2*\cos(\theta)}{\sqrt{\cos(\theta)^2} + \sqrt{\varepsilon - \sin(\theta)^2 * \frac{1}{\tan(\varepsilon - \sin(\theta)^2 * k * d)^2}}} * \frac{\frac{\sin(k*l)}{2} * \sin(\theta)}{\frac{k*l}{2} * \sin(\theta)} \qquad (3.22)$$

Расчет ДН для первой антенны

$$F(\varphi) = \frac{2 * \cos(\varphi) * \cos(\frac{50{,}24 * 0{,}01}{2} * \sin(\varphi))}{\sqrt{(2{,}5 - \sin(\varphi)^2) + (2{,}5 * \cos(\varphi) * \frac{1}{\tan\left(\frac{1}{(\sqrt{(2{,}5 - \sin(\varphi)^2)} * 50{,}24 * 0{,}855 * 10^{-3})}\right)^2}}} * \frac{2{,}5}{\sqrt{2{,}5 - \sin(\varphi)^2}}$$

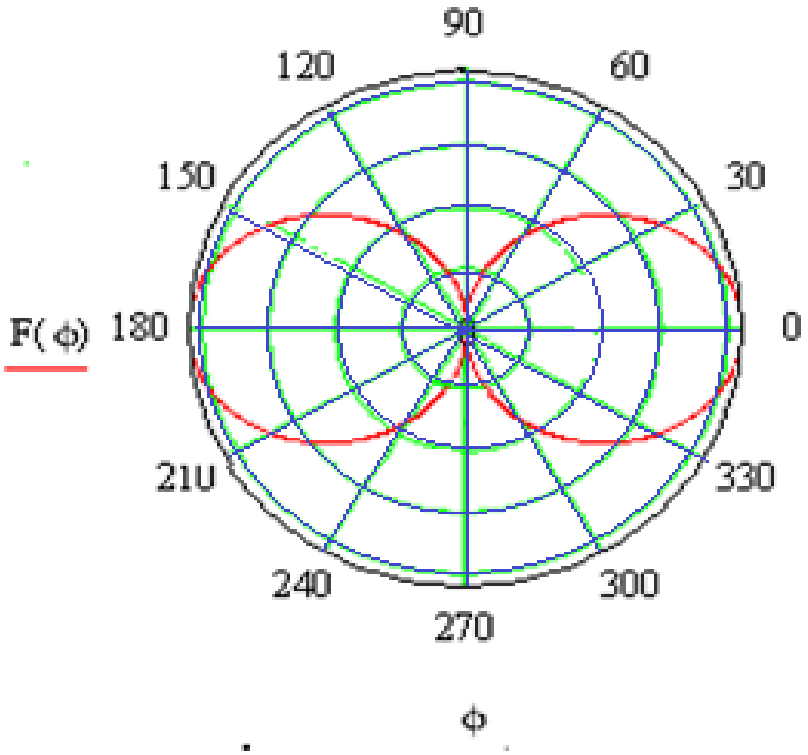


Рисунок 3.2 - ДН для слабонаправленной антенны в плоскости E

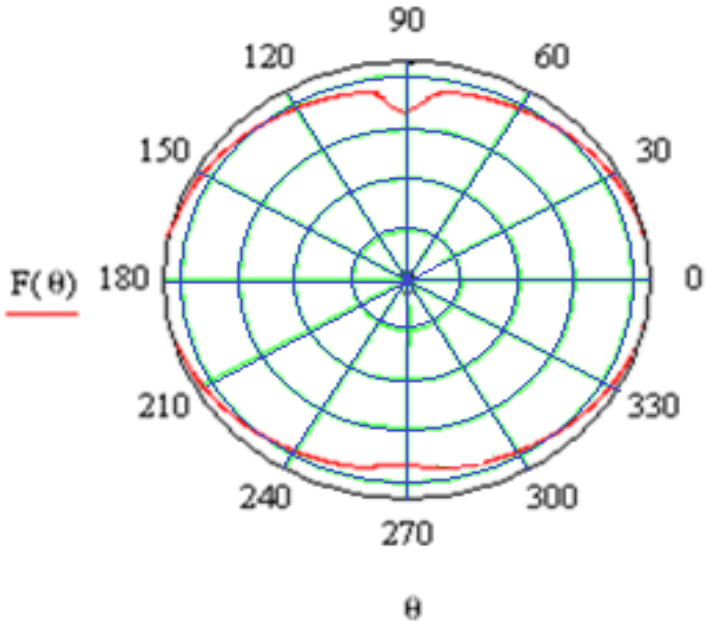


Рисунок 3.3 - ДН для слабонаправленной антенны в плоскости Н

Расчет диаграммы направленности для второй антенны

$$F(\varphi) = \frac{2 * \cos(\varphi) * \cos\left(\frac{50{,}24 * 0{,}02}{2} * \sin(\varphi)\right)}{\sqrt{(5 - \sin(\varphi)^2) + \left(5 * \cos(\varphi) * \frac{1}{\tan\left(\frac{1}{(\sqrt{(5 - \sin(\varphi)^2)} * 50{,}24 * 0{,}855 * 10^{-3})}\right)^2} * \frac{2{,}5}{\sqrt{2{,}5 - \sin(\varphi)^2}}\right)}}$$

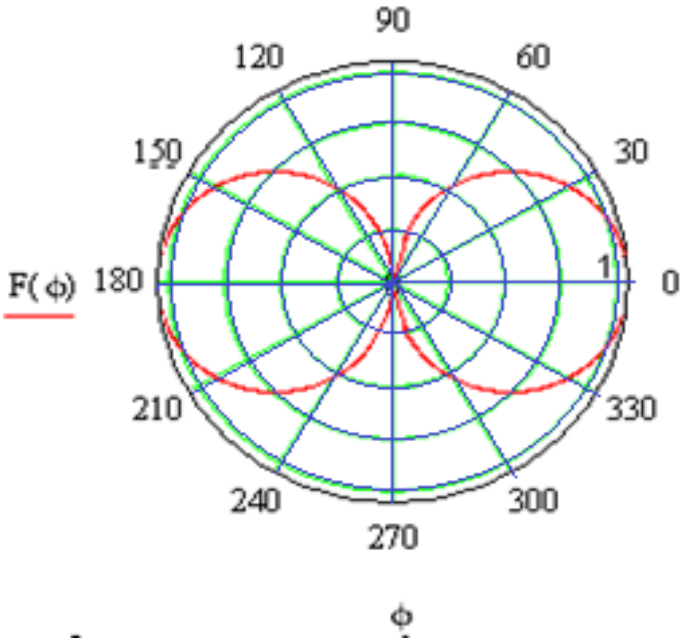


Рисунок 3.4 - ДН для слабонаправленной антенны в плоскости Е

$$F(\theta) = \frac{2 * \cos(\theta)}{\sqrt{\cos(\theta)^2} + \sqrt{5 - \sin(\theta)^2 * \frac{1}{\tan(5 - \sin(\theta)^2 * 50{,}24 * 0{,}855 * 10^{-3})^2}} * \frac{\frac{\sin(50{,}24 * 0{,}02)}{2} * \sin(\theta)}{\frac{50{,}24 * 0{,}02}{2} * \sin(\theta)}}$$

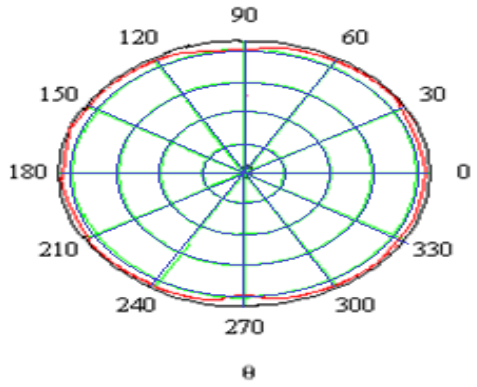


Рисунок 3.5 - ДН для слабонаправленной антенны в плоскости Н.

3.5 Расчет направленной антенны КР14-1800

Методика проведения расчетов антенн сотовых систем связи разнообразна. Расчет антенн производят как по формулам, теоретическим и практическим материалам, (методами сложных математических и физических расчётов.), так и с помощью современных программ по расчёту антенн.

При расчете электрической составляющей электромагнитного поля, создаваемой каждой из антенн, учитываются следующие параметры:

– P - мощность на входе антенно-фидерного тракта, Вт;

– G - коэффициент усиления антенны, раз;

– n - коэффициент потерь в антенно-фидерном тракте;

– R - расстояние от центра раскрыва антенны до расчетной точки, м;

– Fo - значение нормированной диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости;

– Fg - значение нормированной диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости;

– K - коэффициент, учитывающий условия распространения радиоволн (принимается K=1);

– Kg - коэффициент, учитывающий неравномерность диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости (принимается Kg=1)[34].

Расчет производится согласно заданным параметрам или исходным данным для расчёта. В качестве примера для расчета была выбрана направленная GSM антенна КР14-1800.

Антенна КР14-1800 используется в приёмопередающих системах диапазона 1700-1900 МГц. Антенна предназначена для эксплуатации в сетях мобильной связи стандартаGSM-1800, а также в системах мобильной сигнализации, мобильного интернета, и т. д. АнтеннаКР14-1800 (рисунок 3.6) может успешно использоваться в системах усиления мобильного сигнала, в работе различного рода репитеров и усилителей.

Рисунок 3.6 - Внешний вид направленной GSM антенны КР14-1800

Антенна КР14-1800 выполнена в герметичном корпусе, поэтому она устойчива к погодным условиям и может использоваться как внутри, так и вне помещений. Направление поляризации вертикальное. Антенна предназначена для установки на мачту или на Г-образный кронштейн на стену.

Таблица 3.2 - Технические характеристики антенны КР14-1800

Характеристика	Значение
1	2
Резонансная частота, МГц	1800
Рабочий диапазон частот, МГц	1700-1900
Коэффициент усиления в рабочем диапазоне частот, не менее, дБ	14
КСВ в рабочем диапазоне частот, не более	2
Поляризация	Линейная
Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости (Н)	14°
в вертикальной плоскости (Е)	14°
Входное сопротивление, Ом	50
Максимальная подводимая мощность, Вт	10
Разъём	N-female

Продолжение таблицы 3.2

1	2
Допустимая ветровая нагрузка, м/с	30
Диапазон рабочих температур, оС	-40 … +50
Максимально допустимая влажность воздуха, %	100
Размеры антенны с кронштейном, мм	240x240x120
Масса, кг	1,2

Расчет антенны КР14-1800 была произведена с помощью программы MMANA-GAL (Антенный моделировщик-анализатор для профессионалов, рус.интерфейс - есть, FREE) Одна из самых распространенных программ для моделирования антенн, поскольку расчеты являются универсальными, для любого расположения проводов, то базироваться они могут только на наиболее общих формулах. Собственно на них они и базируются: в основе лежит система уравнений Максвелла. Однако для численных методов удобнеее преобразовывать эту систему в так называемое интегральное уравнение электрического поля. По сути, это та же самая система уравненний Максвелла.

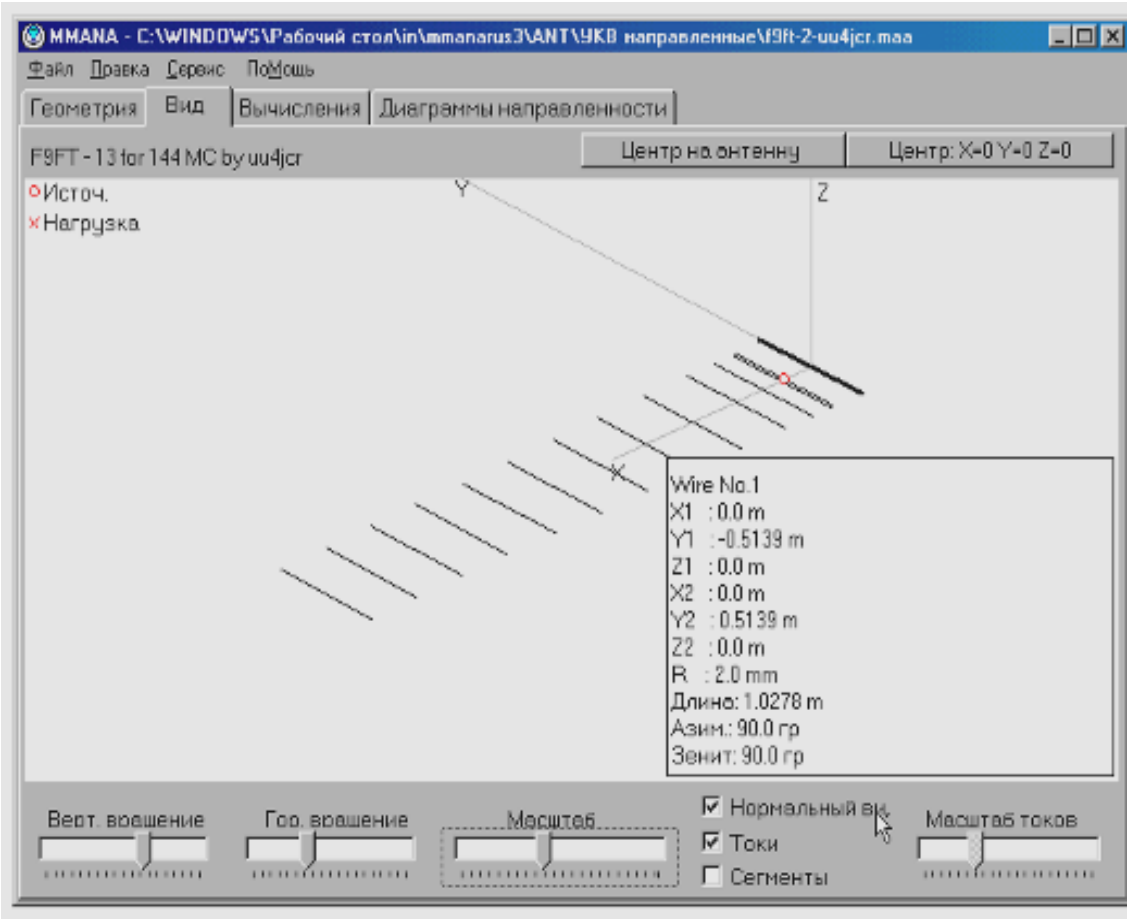


Рисунок 3.7 - Вид антенны.

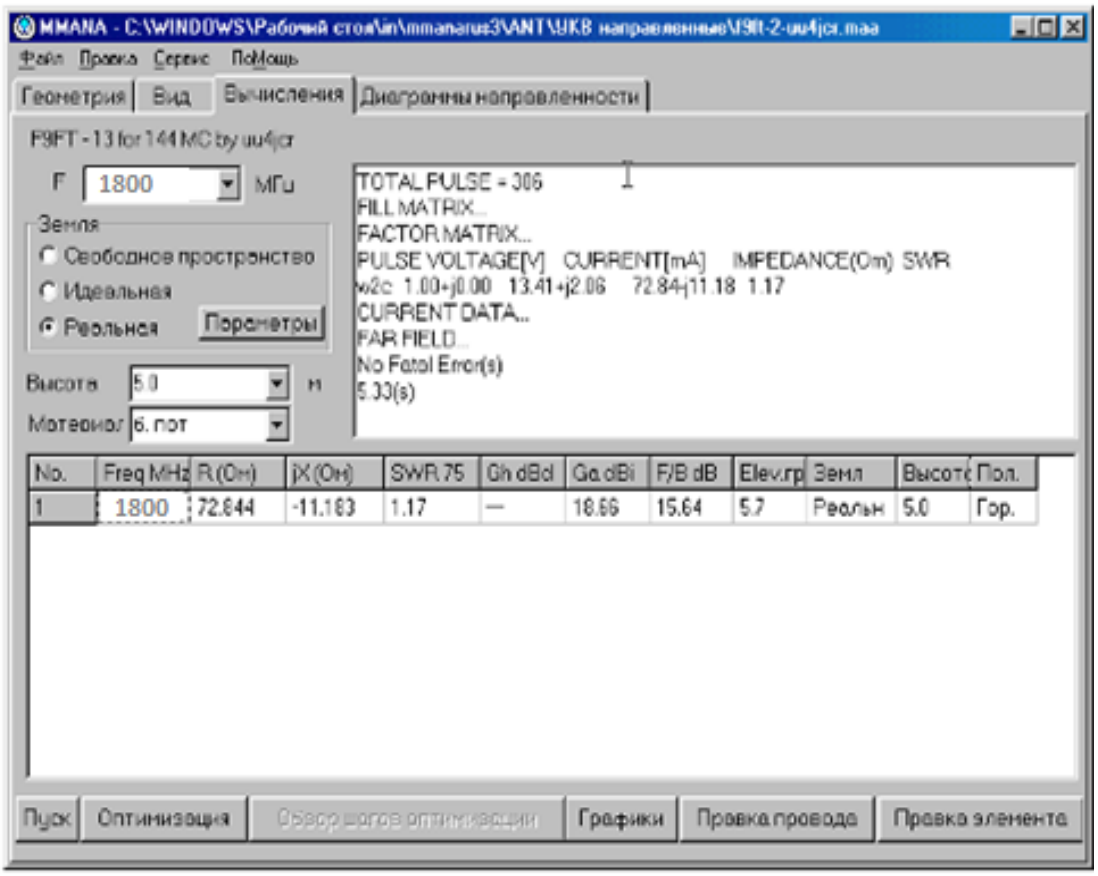


Рисунок 3.8 -. Вычисления антенны.

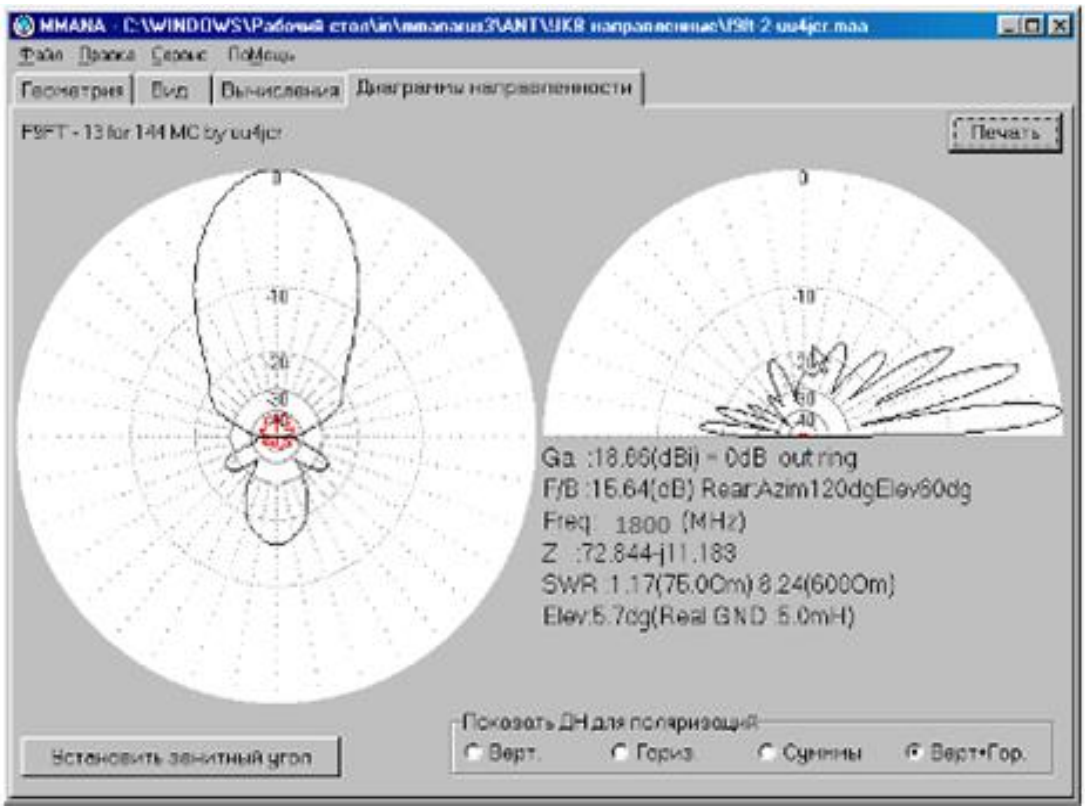


Рисунок 3.9 - Диаграммы направленности антенны

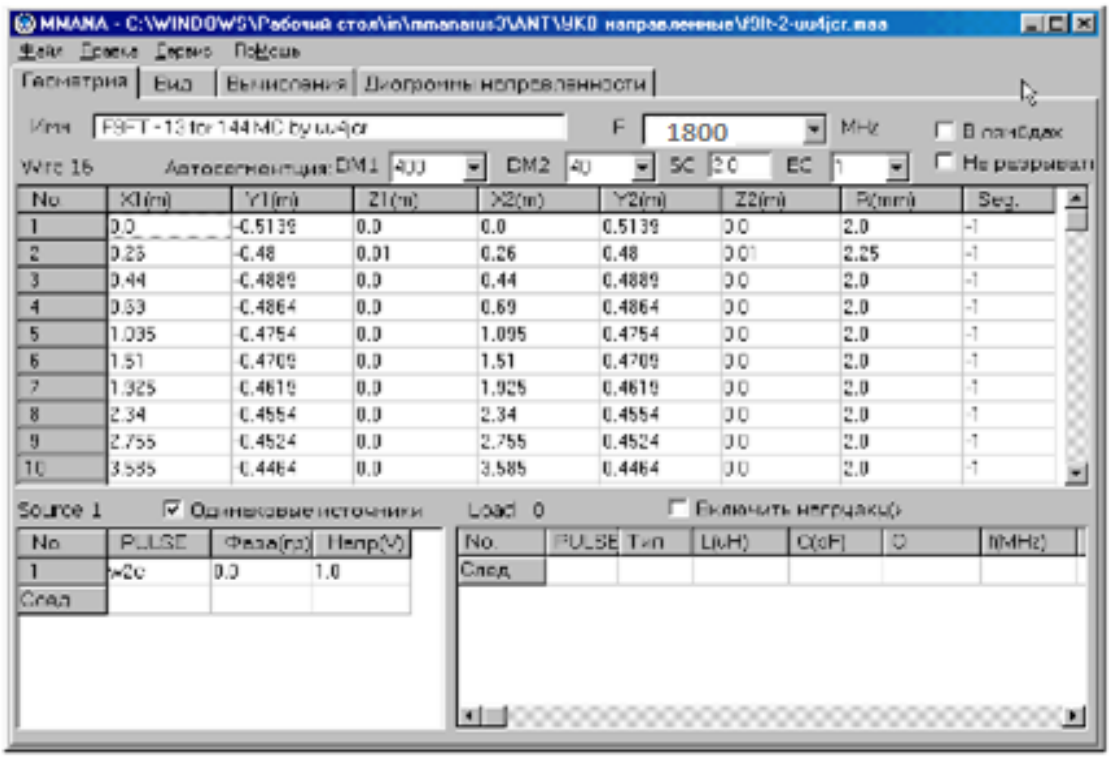


Рисунок 3.10 - Геометрия антенны

Вывод: В данном разделе проведен расчет основных характеристик планарных антенн и проведен анализ полученных результатов. К основным характеристикам относятся: диаграмма направленности, входное сопротивление, волновое сопротивление.

Были рассчитаны увеличение зоны покрытия, увеличение емкости, расчет волнового сопротивления, расчет входного сопротивления, расчет коффициента затухания в микрополосковых антеннах, добротность в микрополосковой линии, расчет диаграммы направленности слабонаправленных прямоугольных планарных антенн

В данной главе приведен расчет антенны КР14-1800 и был с помощью программы MMANA-GAL(Антенный моделировщик-анализатор для профессионалов, рус.интерфейс - есть, FREE) произведен расчет диаграммы направденности.

4 Безопасность жизнедеятельности

Технологический рывок человечества в двадцатом веке принес в нашу жизнь множество интересных открытий и возможностей. Сегодня во время всеобщей цифровизации сложно представить нашу жизнь без сотовой связи. Она позволяет нам не только оставаться в контакте с родными и близкими, но и получать ответы на массу других вопросов. Сотовый телефон превратился в полноценный инструмент для поиска информации. Развитие стандартов сотовых сетей позволило получить с телефона скоростной доступ к интернету,

подключаться к беспроводной локальной сети, передавать файлы и взаимодействовать с различными устройствами по технологии Bluetooth. За этими удобствами стоят годы исследовательских работ, а в частности по миниатюризации приемо-передающей части. Ведь это ключевое звено в радиоустройстве. В мобильных телефонах используются внутренние планарные антенны различных конструкций, вытеснившие внешние спиральные антенны, совмещенные с несимметричными вибраторами. В данной системе связи которая охватывает миниатюризацию аппаратуры, а особенно антенной его части. Но не только его антенная часть должна быть миниатюризирована, надо также не забывать, что у сотового телефона надо уменьшать и его приёмную и передающую части. Развивающимися в данном направлении являются микрополосковые антенны, при производстве которых применяется технология пленочных гибридных интегральных схем сверхвысокочастотного диапазона. Цель данного раздела является анализ санитарно-гигиенических условий труда, идентификации, оценке вредных производственных факторов рабочего места, включающего вычислительную технику и принятии защитных мер. Во избежание вредного воздействия при работе с вычислительной техникой рекомендуют соблюдать соответствующие меры безопасности, правильно планировать рабочее место и график работы. Основным законом трудового законодательства является закон о труде (ЗОТ). ЗОТ содержит основные положения об охране труда, устанавливает рабочее время для рабочих и служащих, время отдыха, условия труда для женщин и несовершеннолетних. ЗОТ устанавливает ответственность администрации предприятия за травматизм на производстве, порядок надзора и контроля за выполнением требований по технике безопасности. Техника безопасности, являющаяся основной частью охраны труда, предусматривает технические и организационные мероприятия, обеспечивающие безопасный труд. Для отрасли электронной промышленности разработаны специальные правила безопасности, которые утверждены Госкоминспекцией, Госэнергонадзором, Главным управлением пожарной охраны (ГУПО).

4.1 Анализ условий труда

Анализ условий труда в офисе по исследованию характеристик планарных антенн является необходимой мерой для обеспечения безопасности работников и сохранности оборудования. В данной главе приводится расчет безопасности жизнедеятельности в офисе по теоретическому исследованию антенных устройств. Предполагается, что здание рассчитано для 4 человек. Работа производится в дневную смену. План приведен на рисунке 4.1. Цель данного раздела является анализ санитарно-гигиенических условий труда, идентификации, оценке вредных производственных факторов рабочего места, включающего вычислительную технику и принятии защитных мер. Во избежание вредного воздействия при работе с вычислительной техникой рекомендуют соблюдать соответствующие меры безопасности, правильно планировать рабочее место и график работы.

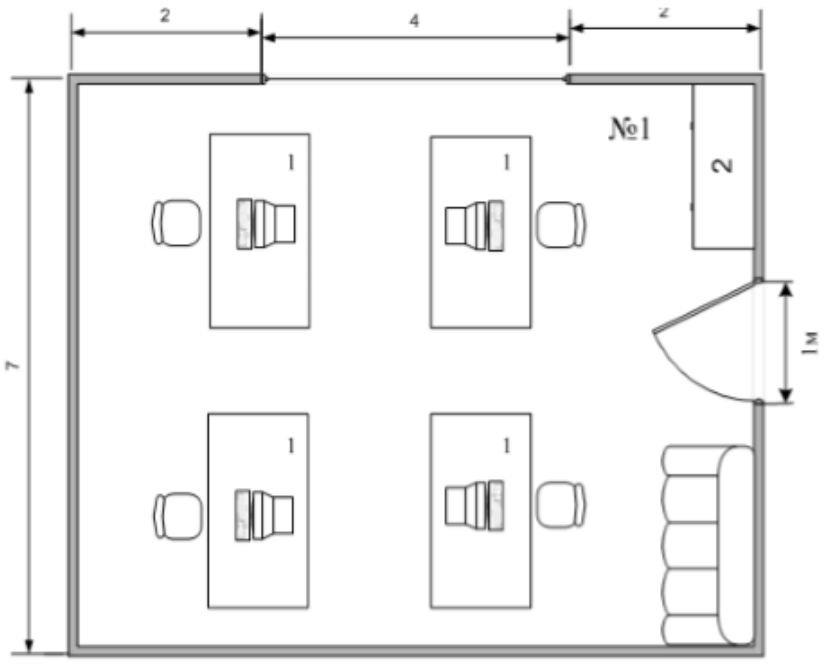


Рисунок 4.1 – План помещения

Произведём анализ условий труда в помещении, прямоугольной формы, представляет собой комнату с одной дверью и четырьмя окнами направленные, общей площадью Sок = 8 м2. Размеры помещения составляют 8 х 7 х 3 м. В данном помещении потолок выбелен (ρ=0,7), стены покрашены в белый цвет с коэффициентом отражения ρ = 0,5, напольный кафель светлого цвета (ρ = 0,3). Искусственное освещение в помещении осуществляется с использованием люминесцентных ламп мощностью 40 Вт со световым потоком 3120 лм в светильниках общего освещения (тип светильника – ПВЛМ 2х40). В помещении имеется 5 светильника, в каждой из которых по 2 две лампы. В помещении не имеется система кондиционирования воздуха, окна заблокрованны.

Помимо персонального компьютера в помещении находится стулья, столы, тумбы. Персональный компьютер установлен и размещен в соответствии с требованиями условий заводов-изготовителей и настоящих требований. Для сотрудников созданы комфортные условия труда, такие как рабочее место и состояние внутренней среды помещения, обеспечивающие оптимальную динамику работоспособности, хорошее самочувствие и сохранение их здоровья. Важным моментом организации рабочего места является определение занимаемой работником площади, которая позволяет удобно производительно проводить трудовой процесс. В соответсвии СанПиН 2.2.2. 548-96 площадь на одно рабочее место – не менее 6 м², объем – не менее 19,5 м². В данном помещении на одно рабочее место приходится 14 м2 рабочего пространства, а объем составляет 42м3. Организация рабочего места соответствует требованиям, изложенных в санитарных нормах и правилах.

Категория работы на объекте относится к категории 1б (легкой физической тяжести), то есть производится стоя, сидя или связана с ходьбой и сопровождающаяся некоторым физическим напряжением, при котором выделяется энергия, которая составляет от 140 до 174 Дж·с. [39]. Основной задачей кондиционирования и вентиляции в помещении является создание оптимального микроклимата для обеспечения высокой работоспособности без вреда для здоровья. Система вентиляции и кондиционирования помещений такого типа должна выполнять следующие задачи:

– быстрый и точный контроль микроклимата;
– поддерживает определенную температуру, влажность и пыль;
– стабильность и непрерывность соблюдения определенных
– микроклиматических параметров круглосуточно;
– формирование необходимого резерва для холодопроизводительности;
– точный контроль контроля и блокировки в случае пожара.

Наиболее распространенные системы кондиционирования воздуха для офисного помещения являются сплит-системы для подвесных стен и потолков. Каждый из них имеет свои преимущества, недостатки и особенности. Сплит-системы являются недорогими, эффективными и требуют мало места. Недостаток этих моделей заключается в том, что они имеют низкую охлаждающую способность и ограниченную длину полос фреона. Самая мощная модель имеет мощность 10 кВт, что недостаточно для качественного кондиционирования воздуха в крупных помещениях. Создание проектов систем вентиляции и кондиционирования в помещениях с вычислительными машинами основано на нормативных документах СанПиН 2.2.4.548-96 [39]. Для создания комфортных условий труда в помещениях произведем анализ микроклимата и определим необходимое количество кондиционеров.

4.2 Анализ оборудования

Характеристики оборудования: Компьютер:
Производитель: PC ALSI.
Процессор: Intel/ Core i3/ 2120.
Частота процессора: 3.3 GHz.
ОЗУ: 2 Gb. Жесткий диск: 500 Gb.
Операционная система: FreeDOS.
Монитор: HP/ Compaq LE1711/ 17", TFT TN.
Габаритные размеры стола (ШхГхВ): 130х60х75 см.
Светильник ПВЛМ 2х40.

4.3 Анализ микроклимата

В таблице 4.1 приведены оптимальные нормы параметров микроклимата с учетом периода года, согласно ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ для легкой физической работы.

Таблица 4.1 – Оптимальные нормы микроклимата для помещений с ПК

Период года	Категория работ	Температура воздуха °С не более	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха м/с
Холодный	Легкая 1б	21-23	40-60	0,1
Теплый	Легкая 1б	22-24	40-60	0,2

Определим необходимое количество кондиционеров для создания комфортных условий труда в помещении. Для этого определим избыточное тепло.

Баланс теплопоступлений в помещении [40]:

$$Q_{изб} = Q_{об} + Q_{осв} + Q_{л} + Q_{р} + Q_{огр} + Q_{орг} \quad (4.1)$$

где $Q_{об}$- тепло, выделяемое производственным оборудованием;

$Q_{осв}$ - теплопоступление от осветительных приборов, оргтехники и оборудования;

$Q_{л}$ – теплопоступления от людей;

$Q_{р}$ – Теплопоступление от солнечного излучения через остекление;

$Q_{огр}$– теплопоступление и теплопотери в итоге разности температур;

$Q_{орг}$ - теплопоступление от оргтехники;

Теплопоступление в результате разности температур рассчитывается по формуле [40]:

$$Q_{огрЗима}=V_{пом}*X_{о}*(t_{Врасч}–t_{Нрасч}),Вт. \quad (4.2)$$

где $V_{пом}$ – объем помещения, $V_{пом}$ = 8*7*3 = 168 м3;

$X_{о}$ – удельная тепловая характеристика, $X_{о}$ =0,42 Вт/(м3 * °С);

$t_{нрасч}$ – расчетная наружная температура, равная средней температуре июля в 13 часов, для Алматинской области примем $t_{нрасч}$ = 35 °С;

$t_{врасч}$ = 24 °С – расчетная внутренняя (оптимальная) температура.

Получим:

$$Q_{огрЛетом} = 168 \cdot 0,42 \cdot (35 - 24) = 776,16 \text{ Вт}$$

в декабре , для Алматинской области примем $t_{нрасч}$ = 7 ° С;

$t_{врасч}$ = 24 °С –внутренняя температура при отоплении.

Получим:

$$Q_{огрЗимой} = 168 \cdot 0,42 \cdot (-7-24) = -2187 \text{ Вт}$$

Тепло, выделяемое производственным оборудованием [40]:

$$Q_{об} = K * N_{уст} * \eta \quad (4.3)$$

$$Q_{об} = 1{,}8 * 4 * 0{,}95 = 6{,}84, кВт$$

Значение $\eta = 0{,}95$ – норма потерь потребляемой мощности на тепловыделения компьютерного оборудования.

Тепло, возникающие за счет находящейся оргтехники, - это 30% мощности оборудования [40]:

$$Q_{орг} = 1{,}8*4*0{,}3 = 2{,}16 \text{ кВт}$$

Тепло, выделяемое осветительными установками [40]:

$$Q_{осв} = F_{пол} * \eta * N \quad (4.4)$$

где $F_{пол}$ – площадь пола, $F_{пол} = 56$ м^2;

$\eta = 0{,}5$ – норма потерь потребляемой мощности на тепловыделения люминесцентных ламп;

N – расходуемая мощность светильников, 57 Вт/м^2.

$$Q_{осв} = 56 * 0{,}5 * 57 = 1596,$$

Тепло, выделяемое людьми [40]:

Летом при 26°С один мужчина выделяет явного тепла 61 Вт, а общего 102 Вт.

Женщина выделяет 85% от нормы тепловыделений взрослого мужчины.

Тогда выделение явного тепла в помещении составит:

$$Q_{л}^{я} = 61*4 = 244, \text{ Вт} \quad (4.5)$$

А выделений общего тепла:

$$Q_{л}^{о} = 102*4 = 408, \text{ Вт} \quad (4.6)$$

Зимой при -5 °С один мужчина выделяет явного тепла 82 Вт, а общего – 103 Вт. Женщина выделяет 85% от нормы тепловыделений взрослого мужчины.

Тогда выделение явного тепла в помещении составит:

$$Q_{л}^{я} = 82*4 = 328, \text{ Вт} \quad (4.7)$$

А выделение общего тепла:

$$Q_л^о = 103*4 = 412, Вт \quad (4.8)$$

Окна в офисе располагаются с северной стороны, в связи с эти на окна в течение суток не будут падать прямые солнечные лучи. Поэтому теплопоступление от солнечного излучения через остекление рассчитывается по формуле [40]:

$$Q_р = q^{II} \cdot F_0 \cdot \beta_{сз} \cdot К_1^т \cdot К_2 \quad (4.9)$$

где q^{II}– тепловой поток от рассеянной солнечной радиации q^{II} = 168 Вт/м^2;

$\beta_{сз}$= 0.15 – коэффициент теплопропускания [40]

$F_0 = nS_0 = 2*4 = 8$ м^2 – площадь светового проема

$К_1$=0,72 – коэффициент затемнения остекления переплетами

$К_2$=0,9 – коэффициент загрязнения остекления

$$Q_р=168 * 8 * 0,15 * 0,72 * 0,9=130,64 Вт$$

После того как получили все необходимые данные для расчета общего теплопоступления для помещения вернемся к формуле 1.

$$Q_{изб} = Q_{об} + Q_{осв} + Q_л + Q_р + Q_{огр} + Q_{орг} \quad (4.10)$$

Летом:

$$Q_{изб} = 6840 + 1596 + 408 + 130,64 + 776,16 + 2160 = 11910,8 Дж$$

Зимой:

$$Q_{изб} = 6840 + 1596 + 412 + 130,64 - 2187 + 2160 = 8951,64 Дж$$

В связи с тем что тепловой баланс летом больше зимнего, расчитываем по формуле:

$$Q_н=Q_{изблетом}*860/V_{пом}=11910,8*860/168 = 60971,95 ккал/м^3$$

Если теплонапряжённость воздуха $Q_н$ <20 ккал/м^3, то принимают Δt=6 ^{0}C, а при $Q_н$ <20 ккал/м^3, принимают Δt=8 ^{0}C

Определение количества воздуха, необходимое для поступления в помещение:

$$L = Q_{изб}*860/Δ* \quad t*y=11910,8*860/0,24*8*1,206=4424 м^3/час$$

где С=0,24 ккал/(кг^{0}С) – теплоемкость воздуха

у =1,206 кг/м^3 – удельная масса приточного воздуха.

Определение кратности воздухообмена:

$$n=L/V_{пом}=4424/168=52,9\ час^{-1} = 26\ час^{-1}$$

4.4 Выбор сплит-системы.

Таким образом для кондиционирования воздуха в помещении следует выбирать кондиционер с холодопроизводительностью не менее 3 кВт и циркуляцией воздуха не менее 4,424 м3/ч.

Для обеспечения необходимого кондиционирования воздуха в помещении установим кондиционер Panasonic U-4E23JBE холодопроизводительностью 6,8 кВт, 1 штук. Схема расположения внутреннего блока (рисунок 4.2). Паспортные технические характеристики кондиционера сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 - Технические характеристики кондиционера

Технические характеристики	Значение
Уровень охлаждения, кВт	6,8
Уровень обогрева, кВт	8,6
Уровень шума внутреннего блока, дБ	48
Потребляемая мощность охлаждения, кВт	1,68
Потребляемая мощность обогрева, кВт	1,85
Циркуляция воздуха, м^3/ч	4800
Электропитание	220 В, 50 Гц
Габариты внутреннего блока, мм (ДхШхВ)	1259х349х25
Габариты внешнего блока, мм (ДхШхВ)	870х800х320

Задача кондиционирования воздуха состоит в выполнении вентиляции и отопления, а также в поддержании таких параметров воздушной среды, при которых каждый человек благодаря своей индивидуальной системе автоматической терморегуляции организма чувствовал бы себя комфортно, не замечая влияния этой среды. Все условия для микроклимата выполнены. Данный устройство для кондиционирования воздуха полностью соответвует нормам микроклимата для данного помещения.

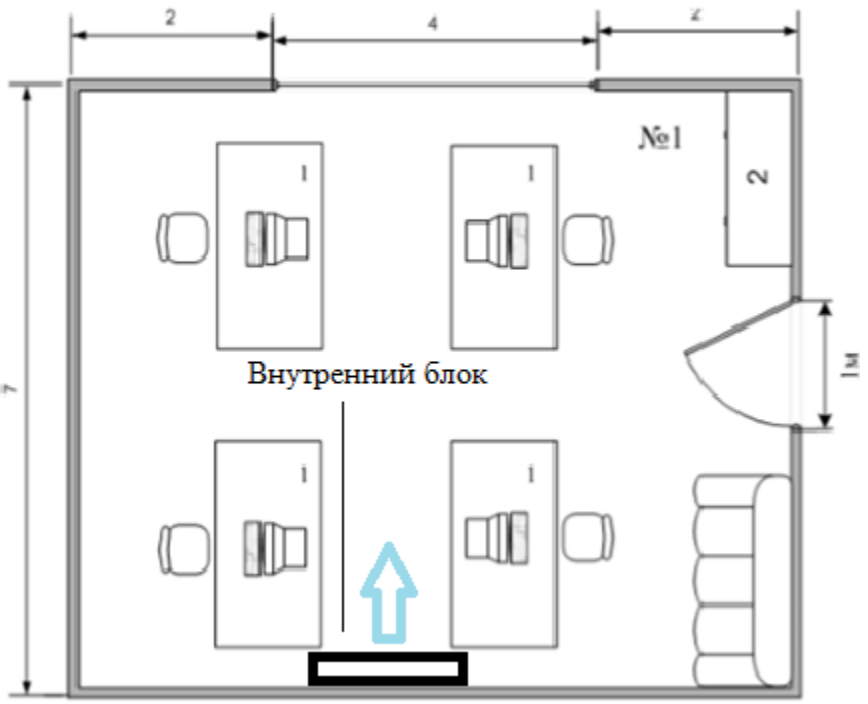


Рисунок 4.2 – Схема расположения кондиционера в помещении

4.5 Общий вывод по разделу

Задача кондиционирования воздуха состоит в выполнении вентиляции и отопления, а также в поддержании таких параметров воздушной среды, при которых каждый человек благодаря своей индивидуальной системе автоматической терморегуляции организма чувствовал бы себя комфортно, не замечая влияния этой среды. Выполнив раздел безопасности жизнедеятельности и труда, были рассчитаны тепловые нагрузки в помещении, снаружи и внутри. По расчетам был выбран кондиционер с подходящими характеристиками. Расчет показывает, что при достаточном количестве человек и оборудования, количество избыточного тепла очень высоко, вследствие чего была установлена мощная система кондиционирования.

5 Оценка экономических показателей

5.1 Резюме

Технологический рывок человечества в двадцатом веке принес в нашу жизнь множество интересных открытий и возможностей. Сегодня во время всеобщей цифровизации сложно представить нашу жизнь без сотовой связи.
Развитие стандартов сотовых сетей позволило получить с телефона скоростной доступ к интернету, подключаться к беспроводной локальной сети, передавать файлы и взаимодействовать с различными устройствами по технологии Bluetooth. За этими удобствами стоят годы исследовательских

работ, а в частности по миниатюризации приемо-передающей части. Ведь это ключевое звено в радиоустройстве.

В мобильных телефонах используются внутренние планарные антенны различных конструкций, вытеснившие внешние спиральные антенны, совмещенные с несимметричными вибраторами. В данной системе связи которая охватывает миниатюризацию аппаратуры, а особенно антенной его части. Но не только его антенная часть должна быть миниатюризирована, надо также не забывать, что у сотового телефона надо уменьшать и его приёмную и передающую части. Развивающимися в данном направлении являются микрополосковые антенны, при производстве которых применяется технология пленочных гибридных интегральных схем сверхвысокочастотного диапазона.

Цель данного проекта - разработка математических моделей микрополосковых излучателей, анализа на их основе основных электродинамических характеристик, способов расширения рабочей полосы частот; при этом необходимо учитывать специфические особенности размещения МПИ на объектах ограниченных размеров. Непосредственно объектом исследования в работе являются малогабаритные излучающие структуры и радиотехнические системы с их использованием

5.2 Характеристика предприятия

Данная отрасль оказывает услуги в сфере технического проектирования, а в частности исследования характеристик планарных антенн. Каждый производитель современных сотовых телефонов имеет данный исследовательский отдел по изучению, усовершенствованию антенно-фидерных устройств. Для эффективной работы предприятия были выделены все необходимые устройства, современный офис со всеми удобствами.

Для выполнения плана стоят конкретные задачи в порядке действий:

– методы оптимизации характеристик микрополосковых антенн;

– расчет характеристик направленных планарных антенн;

При работе исследовательской группы в сфере производства сотовых телефонов совершенно необходимы компьютеры, на которых производятся все расчеты.

Для успешной и эффективной работы коллектива каждый сотрудник имеет независимого начальника, который пристально следит за работой и управляет процессом. Для поднятия мотивации и поддержания высоко качества, помимо фиксированной оплаты труда, была введена бонусная система.

5.3 Описание услуг

Данное предприятие оказывает услуги исключительно исследовательского характера такие как:

– анализ данных;
– планирование стратегии развития;
– усовершенствование технологий;
– компьютерное моделирование;
– миниатюризация антенно-фидерных устройств.

5.4 Менеджмент и стратегия маркетинга

Численность штата по проекту составляет 4 человек. Все работники по данному проекту будут привлечены на полный рабочий день.

а) Руководитель проекта будет следовать следующим функциональным обязанностям:

– участвовать в разработке всех этапов проекта;
– координировать и контролировать технические технологические процессы работы;
– координация выполнения работ по всем этапам проекта;
– взаимодействовать с компанией-соисполнителем;
– управлять действиями командой;
– решать организационно-административные вопросы.

б) Инженерно-технический персонал будет следовать следующим функциональным обязанностям:

– участвовать в разработке технической документации;
– участвовать в экспериментальных работах;
– проводить инженерно-технические работы (курировать отдел разработки)
– осуществлять контроль над работой оборудования.

Исследования дадут возможность усовершенствовать технологию, от этого в частности будет зависеть производительность и качество сотового телефона. Вследствие миниатюризации антенно-фидерной и приёмопередающих частей, устройство будет иметь новый дизайн, что напрямую влияет на уровень продаж. Основным источником информации о результатах исследования являются уже состоявшиеся проекты. Также 1/20 часть дохода будет запускаться непосредственно на маркетинг т.е. реклама в интернете, в соц. сетях проводится акции. Будут распространяться материалы с данными о компании: буклеты, визитки, листовки, а также установка рекламных щитов с характеристикой будущего устройства.

Действия, направленные на стимулирование спроса заключаются в предоставлении качественного устройства по адекватной стоимости, они могут проводиться во время рекламной кампании. Реализация действий по стимулированию спроса поможет охватить широкий круг потенциальных клиентов, покажет доступность и необходимость использования.

5.5 Финансовый план

Капитальные вложение включают в себя стоимость оборудования, монтажных работ и транспортных услуг. Общие капитальные вложения [35]:

$$К=К_0+К_М+К_{ТР}, \quad (5.1)$$

где $К_О$ - затраты на оборудование;

$К_М$ - капитальные вложения на монтажные работы;

$К_{ТР}$ - капитальные вложения на транспортные расходы (5-10% от стоимости оборудования).

Затраты на оборудование представлены в таблице 5.1 [36].

Таблица 5.1 - Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Количество, шт	Цена, тг	Сумма, тг
1 Ноутбук ASUS X543UA-DM1526T 90NB0HF7-M31120	4	200000	800000
Итого			800000

Капитальные вложения на транспортные расходы:

$$К_{ТР} = К_0 \cdot 0,05 = 800000 \cdot 0,05 = 40000 \text{ тенге.} \quad (5.2)$$

Таблица 5.2 - Капитальные вложения

Наименование статей	Сумма, тг
Затраты на оборудование	800000
Капитальные вложения на монтажные работы, 6% от затраты на оборудование	48000
Капитальные вложения на транспортные расходы, 5% от затраты на оборудование	40000
Общие капитальные вложения	888000

Общие капитальные вложения:

$$К=800000+48000+40000 = 888000 \text{ тенге.} \quad (5.3)$$

5.6 Эксплуатационные расходы

В процессе обслуживания и предоставления услуг исследовательского характера, требующая расхода ресурсов предприятия. Сумма затрат за год и составит фактическую производственную себестоимость или величину годовых эксплуатационных расходов.

$$\Sigma Э = ФОТ + Ос + Э + Ао + М + Пч + Н, \quad (5.4)$$

где ФОТ - фонд оплаты труда всех работников предприятия;

Ос - социальный налог;

М - материальные затраты и запасные части (расходы на запасные части и текущий ремонт составляют 0,5% от капитальных вложений);

Э - затраты на электроэнергию;

Ао - амортизационные отчисления;

Пч - платежи за использование частот;

Н - накладные расходы (косвенные расходы, неучтенные расходы, хозяйственные, затраты на обучение кадров, транспортные расходы). Обычно это 75% от себестоимости [35].

Определим фонд оплаты труда ФОТ

$$ФОТ = З_{осн} + З_{доп}, \quad (5.5)$$

где, $З_{осн.}$ - основная заработная плата;

$З_{доп.}$ - дополнительная заработная плата.

Таблица 5.3 - Заработная плата сотрудников:

Наименование категории работников	Численность по штату, чел	Мес. ЗП, тг	Итого по категории, тг	Годовая ЗП, тг
Руководитель проекта	1	225 000	225 000	2 700 000
Инженер	3	140 000	420 000	5 040 000
Итого	4	365 000	645 000	7 740 000

Дополнительная заработная плата составит 20% от основной:

$$З_{доп} = 7\,740000 * 0,2 = 1548\,000 \text{ тенге.}$$

Тогда ФОТ составит:

$$ФОТ = 7\,740000 + 1548\,000 = 9288000 \text{ тенге.}$$

Отчисления в пенсионный фонд (ПФ) составляют 10% от ФОТ:

$$ПФ = 0,1 * ФОТ, \quad (5.6)$$

$$ПФ = 0,1 * 9288000 = 928800 \text{ тенге.}$$

Социальный налог составит 13% от ФОТ. Тогда с вычетом пенсионного фонда социальный налог составит:

$$О_С = 0,13 * (ФОТ – ПФ), \quad (5.7)$$

$$О_С = 0,13 * (9288000 - 928800) = 1086\ 800 \text{ тенге.}$$

Нормы амортизационных отчислений для отрасли связи составляют до 25% в год. Примем норму амортизации равной 15%:

$$Ао = К * Н_А /100\%, \quad (5.8)$$

$$Ао = 888000 * 15/100 = 133200 \text{ тенге.}$$

Материальные затраты и расходы на запасные части и текущий ремонт составляют 5% от капитальных вложений:

$$М = К * 5\% /100\%, \quad (5.9)$$

$$М = 888000 * 0,05 = 44400 \text{ тенге.}$$

Затраты на электроэнергию для производственных нужд, включают в себя расходы электроэнергии на оборудование и дополнительные.

$$Э = З_{эл.энобор} + З_{доп.нуж.}, \quad (5.10)$$

$$З_{эл.эн\ обор} = W * S * \cdot T, \quad (5.11)$$

Для города Алматы :

где W = 6,92 кВт - потребляемая мощность; T = 2160 ч/год — Количество часов работы; S = 17,81 тг/кВт*час — Стоимость киловатт-часа электроэнергии [37].

$$З_{эл.эн\ обор} = 6,92 * 2160 * 17,81 = 266\ 209,632 \text{ тенге}$$

Затраты электроэнергии на дополнительные нужды возьмем по укрупненному показателю 5% от затрат на электропитание оборудования[35]:

$$З_{доп.нуж} = 0,05 * З_{эл.эн\ обор}. \quad (5.12)$$

Определим затраты электроэнергии на дополнительные нужды:

$$З_{доп.нуж} = 0,05 * 266209,632 = 13310,4816 \text{ тенге.}$$

Тогда затраты на электроэнергию для производственных нужд:

$$Э = 266\ 209,632 + 13310,4816 = 279520,114 \text{ тенге.}$$

Ежемесячная абонентская плата за доступ в Интернет г.Алматы: 38 000 тенге.

Ежегодная плата составляет:

$$П_{абон} = 38000 * 12 = 456\ 000 \text{тенге.}$$

Накладные расходы составляют 75% от себестоимости[35]:

$$Н = 0,75 * С. \quad (5.13)$$

Эксплуатационные расходы без накладных расходов приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 - Годовые эксплуатационные расходы без учета накладных расходов

Показатель	Сумма, тенге
1) ФОТ	9288000
2) Отчисления на социальный налог	1086 800
3) Амортизационные отчисления	133200
4) Материальные затраты	44400
5) Затраты на электроэнергию	279520,114
6) Абонентская плата за Интернет за год	456 000
Эксплуатационные расходы без накладных расходов	11287 920,1

Определим накладные расходы:

$$Н = 0,75 \cdot 11287920,1 = 8465940,08 \text{ тенге.}$$

Таким образом, годовые эксплуатационные расходы (рисунок 5.1) составят:

$$ΣЭ = 11287920,1 + 8465940,08 = 19753860,2 \text{ тенге.}$$

Диаграмма структуры эксплуатационных затрат приведена на рисунке 5.1.

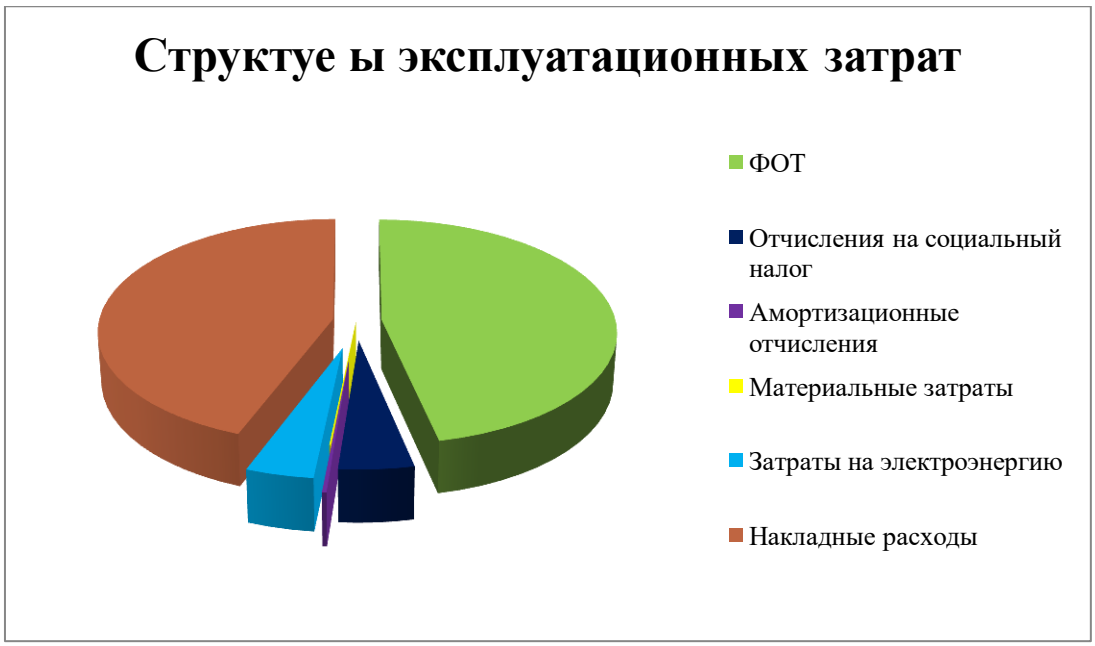


Рисунок 5.1- Диаграмма структуры эксплуатационных затрат

5.7 Расчёт показателей экономической эффективности

Экономический эффект - разность между результатами деятельности хозяйствующего субъекта и произведенными для их получения затратами. Различают положительный и отрицательный экономический эффект. Положительный экономический эффект достигается в случае, когда результаты (продукт или услуга в стоимостном выражении) превышают затраты. Этот эффект называется прибылью. Для его получения необходимо расширение производства, либо экономия ресурсов на единицу продукта, либо и то, и другое. Если затраты превышают результаты, имеет место отрицательный экономический эффект, т. е. убыток.

Коэффициент общей – (абсолютной) экономической эффективности капитальных вложений - при строительстве нового объекта, предприятия.

$$Еа = (Д – Э)/К = П/К,$$

где Д – доходы от основной деятельности;

Э – эксплуатационные расходы;

П – чистый доход.

В связи с тем, что данными разработками занимаются компании, которые непосредственно используют планарные антенны для реализации своих устройств. В пример возьмем данные компании “Samsung Electronics” за 2019 год. В 2019 году выручка“Samsung Electronics” достигла 230,4 трлн. вон ($195,6 млрд.), что на 5% меньше, чем годом ранее. Чистая прибыль “Samsung Electronics” в 2019 году сократилась примерно вдвое и составила 21,74 трлн. вон ($18,5 млрд.). 1 доллар США = 420 Казахстанских тенге [38].

$$Ea = (81{,}9 * 10^9 - 19753860{,}2)/ 888000 = 7{,}77 * 10^9 / 888000 \quad (5.14)$$

$$Ea = 92{,}2 * 10^6 = 8{,}75 * 10^3$$

$$Ea = 92{,}19 * 10^6 \text{ тенге.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений – срок возвратности средств, является показателем, обратным коэффициенту общей (абсолютной) эффективности.

$$T = 1/E, \quad (5.15)$$

где Е – абсолютная экономическая эффективность;
Т- срок окупаемости капитальных вложений.

$$T = 1/ 92{,}19 * 10^6$$

$$T = 0{,}01 * 10^{-6}$$

5.8 Общий вывод по разделу

Срок окупаемости проекта равен $0{,}01 * 10^{-6}$, значит, проект стоит принять. Данный проект экономически выгоден. Годовая экономия, или годовой экономический эффект, получаемый в результате внедрения нового оборудования оценивается в $91{,}39 * 10^6$ тенге. Проведенный экономический анализ показал целесообразность внедрения данного проекта.

Заключение

Целью данной дипломной работы являлось анализ методов оптимизациихарактеристик планарных антенн,теоретическое и компьютерное исследование микрополосковых антенн. Были рассмотрены общие принципы построения микрополосковых антенн. Также рассчитаны основные характеристики и выполнен сравнительный анализ исследуемых антенн. Удалось найти методы оптимизации основных характеристик МПА, что приводит к более широкому применению этих антенн в городских условиях.

В результате расчетов и математического моделирования выяснялось, что у слабонаправленных антенн с увеличением размеров площади полосы пропускания и относительной диэлектрической проницаемости диаграмма направленностистановится более направленной. Например, у первой антенны по сравнению со второй зона покрытия, т.е ДН на 5% уменьшилась.

В итоге удалось найти конкретные методы оптимизации характеристик микрополосковых антенн для систем связи. В дальнейшем это позволит увеличить область применения планарных антенн в системах связи, а также позволитиспользоватьихсмаксимальнойэффективностьюприсравнительной дешевизне на фоне других антенн.

Список сокращений

АР	антенная решетка
АЧХ	амплитудно-частотная характеристика
АФУ	антенно-фидерное устройство
БС	базовая станция
ДН	диаграммы направленности
КБВ	коэффициенту бегущей волны
КНД	Коэффициентнаправленного действия
КПД	коэффициент полезного действия
КСВ	коэффициент стоячей волны
КСВН	коэффициент стоячей волны по напряжению
КУ	коэффициент усиления
МПА	микрополосковые антенны
МПИ	микрополосковый излучатель
МПЛ	микрополосковая линия
МУ	мобильное устройство
МШУ	малошумящий усилитель
ПА	печатные антенны
ПЛП	полосковой проводник
РСВ	режим стоячих волн
РЧ	радио частота
СВЧ	сверхвысокие частоты
УКВ	ультракороткие волны
ФАР	фазированная антенная решетка
3G	технологии мобильной связитретьего поколения
CDMA	технология связи, обычно радиосвязи, при которой каналы передачи имеют общую полосу частот, но разныекодирующие последовательности
DIFA	двойная перевернутая F-антенна
ETSI	Европейский институт телекоммуникационных стандартов
GPS	спутниковая система навигации
GSM	глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи с разделением каналов по времени и частоте
ILA	перевернутая L-антенна
IFA	перевернутая F антенна
PIFA	планарная перевернутая F образная антенна
SAR	удельный коэффициент поглощения электромагнитной энергии
SDMA	множественный доступ с пространственным разделением каналов
TDMA	множественный доступ с временным разделением каналов
Wi-Fi	технологий беспроводной локальной сети с устройствами

Список литературы

1 Слюссар В.А.. Антенны [Электронный ресурс] // PIFA. The University of Queensland. 2004,№3.

2 Winters J.H. Smart Antennas for Wireless Systems // IEEE Personal Communications. 1998. - №2. - P. 23-27.

3 Chryssomallis M. Smart Antennas // IEEE Antennas and Propagation Magazine. 2000. - V. 42. - P. 129-136.

4 Balanis C.A. Antenna Theory: Analysis and Design, Wiley & Sons. 2nd edition. 1997.

5 Fujimoto K. and James J.R. (editors). Mobile Antenna Systems Handbook. 2nd edition. Artech House. 2001. 710 c.

7 Курушин А. Спиральные антенны в сотовых телефонах. // ChipNews 2001,№10.

8 Корбанский И.Н. Антенны. – М.: Энергия, 1973.

9 Нивекас О.О..Анализ и оптимизация СВЧ структур компания Ansoft. // Ansoft.

10 K. V. SeshagiriRao, Pavel V. Nikitin, and Sander F. Lam Antenna Design for UHF RFID Tags: A Review and a Practical Application IEEE Tran. On Antenna and Propagation, Vol. 53, No. 12, December 2005

11 Панченко Б.А., Нефедов Е.И. Микрополосковые антенны. – М : Радио и связь, 1985 – 47 с.

12 Ковалев И.С. Расчет и конструирование полосковых устройств. – М.: Советское радио, 1974 – 78 с.

13 Вольман В И. Справочник по расчету и конструированию полосковых устройств. – М.:Радио и связь, 1982 – 105 с.

14 Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. – М.:Высшая школа,1988 – 258 с.

15 Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л.Устройства СВЧ и антенны. – М.:Радиотехника, 2006 – 217 с.

16 Каганов В.И. Радиотехника + Компьютер + Mathcad. - М,: Горячая линия,2002.

17 Малорацкий Л.Г.,Явич Л.Р. Проектирование и расчет СВЧ устройста. – М.:Советское радио, 1972 – 278 с.

18 Foschini G.J. Layered Space-Time Architecture for Wireless Communications in a Fading Environment when Using Multiple Antennas // Bell Labs Technical Journal. 1996.-V. 1,-P. 41

19 Paulraj A.J., D. Gesbert D., Papadias C. Smart Antennas for Mobile Communications. Paulraj, Gesbert, Papadias, encyclopedia for electrical engineering, John Wiley Publishing Co., 2010.

20 Слюсар В.И. Генетические алгоритмы в теории антенн // Журнал «Первая миля». 2009.

22 Абилов Ю.А., Алиев Р.А., Насиров И.М.. Генетический алгоритм с групповым выбором и направленной мутацией // Журнал «Радиотехника». 2009.

23 Голубицкая Е.А., Жигульская Г.М. Экономика связи. – М.: Радио и связь, 2000

24 Митрохин В.Н. Электродинамика и распространение радиоволн.- М.: Радио и связь,2010

25 Горобец Н.Н., Лытов Ю.В., Филлипов Л.В., Куликов Е.С. Симметричные микрополосковые антенны с круговой поляризацией. – М. : Техника средств связи, 1980 – 26 с.

26 Банков С.Е.,Курушин А.А.,Разевиг В.Д. Анализ и оптимизация СВЧ структур с помощью программы HFSS. – М.2004.

27 БанковС.Е., Курушин А.А. Проектирование СВЧ Устройств и антенн с Ansoft HFSS. – Техника средств связи, М.2009.

28 Бахраха Л.Д., Воскресенского Д.И.. Антенны: (Современное состояние и проблемы. – М.: Сов. радио, 1979. – 208с.

29 Бузов А.Л., Сподобаев Ю.М. Электромагнитная экология. Основные понятия и нормативная база. – М.: Радио и связь, 1999. – 78с.

30 Антенно-фидерные устройства: технологическое оборудование и экологическая безопасность / Под ред. А.Л. Бузова. - М.: Радио и связь, 1998. - 221 с.

31 Файнберг Е.Л. Распространение радиоволн вдоль Земной поверхности. – М.:Радио и связь, 1999.:

32 Определение плотности потока излучения электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 700 Мгц - 300 Ггц:Методические указания МУК 4.3.680-97. - М.: «Интерсэн» 1998. – 40 с.

33 Прокис Д. Цифровая связь: Пер. с англ. М: Радио и связь, 2000. - 800с

34 Ермолаев В.Т., Маврычев Е.А., Флаксман А.Г. Применение адаптивных антенных решеток для повышения темпа передачи информации в перспективных системах связи // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 2010. - № 9. - С. 50-58.

35 Базылов К.Б., Алибаева С.А., Бабич А.А. Методические указания повыполнению экономического раздела выпускной работы бакалавров для студентов всех форм обучения специальности 050719 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации – Алматы: АИЭС, - 2008. -19 с.

36 СанПин2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклиматупроизводственныхпомещений. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996.

37 Хакимжанов Т.Е. Расчет аспирационных систем. Дипломное проектирование. Для студентов всех форм обучения всех специальностей. – Алматы: АИЭС, 2002. – 30 с.

38 Хакимжанов Т.Е. Охрана труда: Учебное пособие для ВУЗов. – Алматы: Эверо, 2006. – 264 с.

39 Калинушкин М.П. Вентиляторные установки: Учебное пособие. – Москва: Высшая школа, 1979. – 223 с.