

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут Електроніки та радіотехніки, ІРЕТ
(повне найменування інституту, назва факультету)
кафедра радіотехніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

магістр
(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему Аналіз сервісних скриптів на сайтах
Нова

Виконав: студент VI курсу, групи РТ-213м
спеціальності (напряму підготовки)

172 Телекомунікації та радіотехніка
(код / назва напряму підготовки, спеціальності)

Третько В. О.
(прізвище та ініціали)

Керівник Бучкова М. І.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Касян М. М.
(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
20 18 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет ІІРЕ, ФРЕТ
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
 Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістер
 Спеціальність 192 Телекомунікації та радіотехніка
 (код і назва)
 Напрямок підготовки ОПТ Радіотехніка
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Моршавка С.В.
 "10" 12

2018 рік

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Григорук Вітальо Олександрович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз сервішок Сергінського та Сітників Кова

керівник роботи Григорук Вітальо Олександрович, к.т.н. доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "31" жовтня 2018 року.

2. Строк подання студентом роботи 10.12.2018

3. Вихідні дані до роботи спроби вимірювати сигнал Кова на сервішці Сергінського для основних частот мобільної мережі

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз джерел, аналіз сигналів Кова, сервішок Сергінського, розрахунки в HFSS, експериментальні дані сервішок та сигналів. Економіка та охорона праці

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Скайди презентації

6. Консультанти розділів роботи		Підпис, дата	
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	завдання видав	Прийняв виконав завдання
Розробка методики	Григорук Т. І., доцент	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>
Складання розписки	Остапенко В. В., доцент	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>
Оформлення звіту	Коробко В. О., ст. викладач	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>
Перевірка роботи	Мороз Т. В., асистент	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1.	Аналіз та дослідження предметної області	1 тиждень	
2.	Розробка та затвердження методичного завдання	1 тиждень	
3.	Пропонування досліджень	1 тиждень	
4.	Розробка практичних аспектів з використанням матеріалів	2 тиждів	
5.	Аналіз сервісу Сергійського	3 тиждів	
6.	Порівняння модифікованої сервісу Сергійського	4 тиждів	
7.	Аналіз системи Коха	5 тиждів	
8.	Конструкція системи на основі системи Коха	6-10 тижнів	
9.	Порівняння сервісу Сергійського та системи Коха	11-14 тижнів	
10.	Розробка розділів пояснювальної частини	14 тижнів	
11.	Розробка узагальнюючої частини	15 тижнів	
12.	Захист магістерської роботи	16 тижнів	

Студент *[підпис]*
(підпис)

Керівник роботи *[підпис]*
(підпис)

Григорук В. В.
(прізвище та ініціали)

Бунікова Т.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 103 стр., 48 рисунков, 19 таблицы, 20 источников.

Объект исследования – Фрактальные антенны с метаматериалами.

Цель работы – Провести анализ салфеток Серпинского и снежинок Коха, применяемых для БПЛА, выявить их слабые и сильные стороны, предложить новое научно-техническое решение проблемы улучшения качества связи с беспилотными летательными аппаратами на больших расстояниях от базы и ее восстановления в зонах неполного покрытия, исследовать гибридную антенну фрактального типа с применением метаматериалов.

Метод исследования – методы численного электродинамического моделирования в среде HFSS 15, инженерные методы проектирования.

Основные результаты: Проведен анализ салфеток Серпинского и снежинок Коха, применяемых для БПЛА, выявлены их слабые и сильные стороны с точки зрения их основных технических характеристик. Проведен анализ основных технических характеристик модифицированных фрактальных антенны: 3D и 2D ДН, КСВ, коэффициента отражения, объемного распределения электрического поля (ближняя зона) на основании результатов, полученных в среде электродинамического моделирования HFSS 15.

Разработанные модели антенны согласованы, квазиизотропны на резонансных частотах (0,9 ГГц, 1,1 ГГц, 2,4 ГГц и 5,7 ГГц), и могут применяться в БПЛА.

МЕТАМАТЕРИАЛ, ДН, КОЭФФИЦИЕНТ ОТРАЖЕНИЯ, КСВ, СОГЛАСОВАНИЕ, HFSS, ENG-СРЕДА, СНЕЖИНКА КОХА, САЛФЕТКА СЕРПИНСКОГО.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

ДН	– диаграмма направленности
КСВ	– коэффициент стоячей волны
НИР	– научно-исследовательская работа
ЭМИ	– электромагнитный импульс

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ВИДЫ АНТЕНН.....	11
1.1 Классические антенны мобильных телефонов и их проблемы.....	11
1.2 Перспективы применения фрактальных антенн в мобильных телефонах.....	21
1.3 Задачи исследования.....	24
2 АНАЛИЗ САЛФЕТКИ СЕРПИНСКОГО.....	25
2.1 Геометрия салфетки Серпинского.....	25
2.2 Монопольная салфетка Серпинского.....	26
2.3 Модифицированная салфетка Серпинского.....	36
2.4 Вывод к разделу.....	48
3 АНАЛИЗ СНЕЖИНКИ КОХА.....	50
3.1 Конструкция антенны.....	50
3.2 Исследования в среде HFSS.....	52
3.3 Вывод к разделу.....	68
4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ.....	70
4.1 Планирование научно-исследовательских работ.....	70
4.2 Расчет затрат на проведение НИР.....	75
4.3 Расчет экономической эффективности НИР.....	79
5 ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ.....	82
5.1 Анализ потенциальных опасностей.....	82
5.2 Мероприятия по обеспечению безопасности.....	84
5.3 Мероприятия по промсанитарии и гигиене труда.....	86
5.4 Мероприятия по пожарной безопасности.....	94
5.5 Мероприятия по обеспечению безопасности в чрезвычайных ситуациях.....	96
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	99

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК.....	102
----------------------	-----

ВВЕДЕНИЕ

6 марта 1983 года был выпущен первый в мире коммерческий портативный сотовый телефон. В этот день компания Motorola представила аппарат DynaTAC 8000X – результат пятнадцати лет разработок, он весил около 800 грамм и напоминал кирпич длиной в 27см, шириной и высотой порядка 5см. За прошедшие 40 лет, мобильные телефоны претерпели множество изменений и модернизаций, всвязи со стремительным развитием минитюаризации, встречаются модели размером со спичечный коробок и толщиной порядка 5мм. Это привело к ужесточению требований к габаритам антен абонентских терминалов и их полосам пропускания.

Если в современной мобильной технике антенна скрыта от глаз пользователя, то это отнюдь не означает, что ее вовсе нет. Напротив, с небольшим упрощением, все современное мобильное общение человечества заключено между приемной и передающей антеннами, и именно от них зависит результирующая эффективность взаимодействия устройств в радиосети. Когда 6 марта 1983 года был выпущен первый в мире коммерческий портативный сотовый телефон, он весил около 900 грамм и напоминал кирпич длиной в 27см, шириной и высотой порядка 5см. В этот день компания Motorola представила аппарат DynaTAC 8000X – результат пятнадцати лет разработок. За прошедшие 30 лет, мобильные телефоны перетерпели множество изменений и модернизаций, в связи со стремительным развитием минитюаризации, встречаются модели размером со спичечный коробок и толщиной порядка 5мм. Это привело к ужесточению требований к габаритам антен абонентских терминалов и их полосам пропускания.

Одной из наиболее актуальных задач дальнейшего развития современных мобильных устройств стало уменьшение габаритов их антенн вплоть до возможности интеграции в одном корпусе с системами на кристалле (SoC). Столь многообещающие около двух десятилетий назад классические технологии микрополосковых антенн с точки зрения сокращения размеров при

сохранении их эффективности ныне достигли своих пределов. Поэтому в последнее десятилетие поиск нетрадиционных подходов к реализации микроволновой техники существенно активизировался. А разработчиков СВЧ устройств и антенн всё больше привлекают новые материалы и среды с необычными электродинамическими свойствами. Это так называемые метаматериалы, включая киральные и перколяционные среды, оптомагнетики, фотонные и электронные кристаллы. Метаматериалы могут применяться в качестве подложек для печатных миниатюризированных антенн, способствуя снижению размеров излучателей, увеличению их полосы пропускания и эффективности излучения. Причем их структура может быть как однородной, так и композитной, образованной из нескольких типов сред с различными свойствами. Подбирая их размеры и соотношения, можно регулировать резонансную частоту печатной антенны.

Как один из вариантов расширения многодиапазонности антенны для мобильного телефона используем фрактальные антенны. Фрактальный подход даёт возможность плотнее (по сравнению с элементарными излучателями при той же величине их взаимного влияния) размещать антенные элементы. Печатная фрактальная антенна в зависимости от её толщины и диэлектрической постоянной подложки может излучать поверхностные волны, что при соответствующем подходе также можно использовать для снижения уровня излучения в направлении головы говорящего. А используя метаматериалы на подложке антенны, мы постараемся уменьшить размеры антенны, не ухудшая её характеристик.

Рассмотрим треугольную антенну в форме треугольника Серпинского на примере приема вай фая, эти антенны были очень популярны пару лет назад, но сейчас это считается одной из самых худших антенн для приема вай фай. Сейчас мы рассмотрим все преимущества и недостатки этой антенны. Начнем с того какое отношение эта антенна имеет к вай фаю, длинна боковой стороны у этого треугольника равна четверти длинны волны для частоты 2,4ГГц, и собственно говоря эти две стороны это единственное, что связывает эту

антенну с частотой 2,4ГГц. Резонансный ток протекает только по этим двум отрезкам длинна которых соответствует четверти длинны волны, все остальное, что находится внутри плоскости этого треугольника, это смесь из гармоник и частиц отраженного сигнала, вот настолько нерационально используется материал этой антенны. Количество гармоник, количество диапазонов кратных частоте 2,4ГГц соответствует количеству итераций при создании салфетки Серпинского. Например, если этот фрактал прошел три итерации, то есть имеет одно большое отверстие по центру, три отверстия среднего размера и девять маленького, то кроме основного диапазона у нас еще будет три дополнительных гармоник. Широкополосность это хорошо, но это никак не помогает нам в приеме сигнала на конкретной частоте. Отверстия в антенне препятствуют для прохождения сигнала. И сигнал от них отражается. Толщина проводника на краях антенны не одинакова, вообще отверстия в антенне никак не улучшают прием, они даже не защищают от короткозамкнутых токов, тем не менее в этой антенне можно увидеть и полезные свойства. К примеру это сложение токов, заряды со всей площади антенны под действием силы электрического тока стремятся достичь к средней точки, но это самая плохая схема сложения тока.

На этом текстолите можно было изготовить многовибраторную антенну, с разной длинной вибраторов, для того чтобы захватить больше диапазон или с одинаковой длинной вибраторов равной четверти длинны волны на частоте 2,4 ГГц, что позволило бы максимально усилить вай фай сигнал.

Пару лет назад использовали фрактальные антенны, но сейчас производители до сих пор используют обычные стержневые антенны. Единственное преимущество фрактальных антенн – это широкополосность. Но большинству систем не нужны широкополосные антенны ,потому что большинство систем работает на строго заданной частоте. А именно, сотовая связь, вай фай(2,4ГГц).

На замену треугольным антеннам Серпинского и кривым Коха лучше использовать древовидные антенны.

Древовидные антенны обладают и хорошей широкополосностью и хорошим усилением. Они значительно превосходят фрактальные антенны из одного проводника.

В данной работе проанализируем возможность использования антенн, выполненных на основе фрактальной геометрии. С целью создания многодиапазонной антенны для частот диапазона $f_1=0,9\text{GHz}$, $f_2=1,2\text{ GHz}$, $f_3=1,8\text{ GHz}$, $f_4=2,4\text{ GHz}$, рассмотрим антенну на основе регулярного фрактала – салфетки Серпинского третьей итерации, модифицированной салфетки Серпинского и снежинки Коха второй итерации.

1 ВИДЫ АНТЕНН

1.1 Классические антенны мобильных телефонов и их проблемы

В первых моделях сотовых телефонах и стационарных радиосистемах широко использовались спиральные антенны поперечного (перпендикулярного оси) излучения с плотной навивкой спирали. Дело в том, что, как правило, габариты обычных не симметричных 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 (рис. 1.1 а, б).

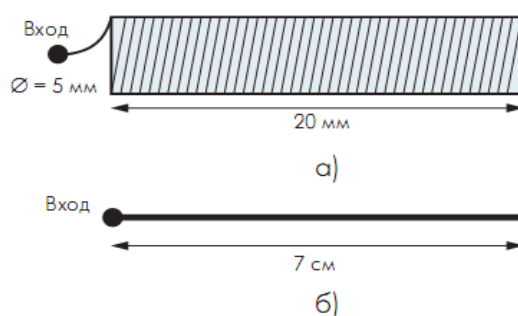


Рисунок 1.1 – Вид спиральной (а) и четвертьволновой (б) антенн на резонансную частоту 868 МГц

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. 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 эллиптической или даже круговой поляризации. Следовательно, такая антенна может принимать сигналы при произвольном угле наклона плоскости поляризации в пределах своей диаграммы направленности (ДН). Условие круговой поляризации при однородном по значению и фазе наведенном токе вдоль спирали задано соотношением Вилера:

$$T = \frac{\pi^2 D^2}{2\lambda},$$

где T – шаг спирали (расстояние между соседними витками провода);

D – диаметр петли, λ – длина волны.

Фактически для круговой поляризации угол наклона проводника в спирали относительно ее продольной оси должен составлять 45° . На практике такой угол не выдерживают из-за стремления добиться минимальной физической длины антенны путем увеличения числа витков спирали до максимума. Поэтому в портативных радиосистемах спиральные структуры излучают волны эллиптической поляризации.

Появление двухчастотных приемников стимулировало дальнейшее развитие спиральных несимметричных антенн.

На рис. 1.2 показан разрез типичной бисегментной двухчастотной спиральной антенны с двумя различными шагами навивки в разных ее сегментах под диапазоны частот стандартов GSM и DCM (1710 и 1880 МГц). Существуют и другие решения задачи создания двухчастотных малоразмерных антенн. Например, помещать спираль малого радиуса, предназначенную для

работы в диапазоне 1800 МГц, внутр. спирали большего радиуса с резонансной частотой 900 МГц (рис.1.3а). Второй вариант – это комбинация штыревого излучателя для частоты 1800 МГц и спиральной антенны, намотанной вокруг него (рис. 1.3б), обеспечивающей работу в диапазоне 900 МГц.

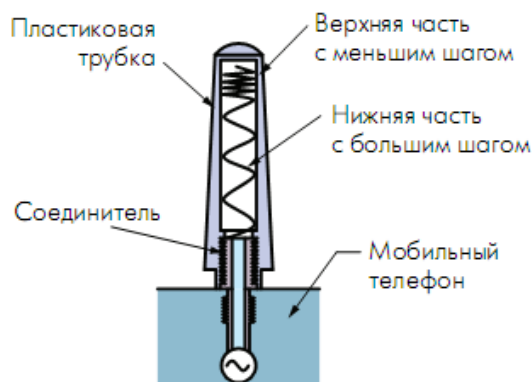


Рисунок 1.2 – Разрез двухдиапазонной спиральной антенны

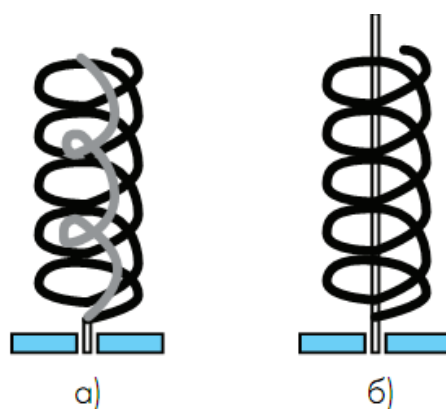


Рисунок 1.3 – Варианты двухчастотных антенн со спиралями разного раз мера (а) и комбинации штыревого излучателя и спиральной антенны (б)

Для дальнейшего уменьшения габаритов антенны было предложено изгибать, свертывать или каклибо трансформировать двумерные монополи в трехмерные структуры. В частности, специалистами Политехнического

института и государственного университета штата Виргиния была разработана спирально винтовая антенна (рис.1.4).

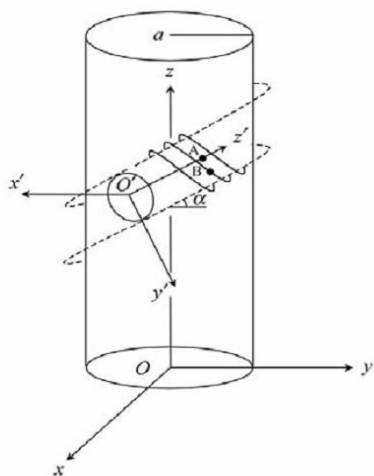


Рис.1.4 – Геометрия спирально-винтовой антенны

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 $\sim 4\%$ длины волны сигнала, а у некоторых антенн – не превышает 7 мм ($\sim 2\%$ длины волны сигнала той же частоты). Объемно структурированные спиральные антенны, в частности их спиральновинтовые 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.

Следующим видом антенн для мобильного телефона можно считать антенны инверсного типа ILA, IFA И DIFA. Первым образцом таких антенн можно считать простейший L-образный вибратор, располагаемый в перевернутом виде (отсюда термин "инверсный") над плоским экраном (рис.1.5)

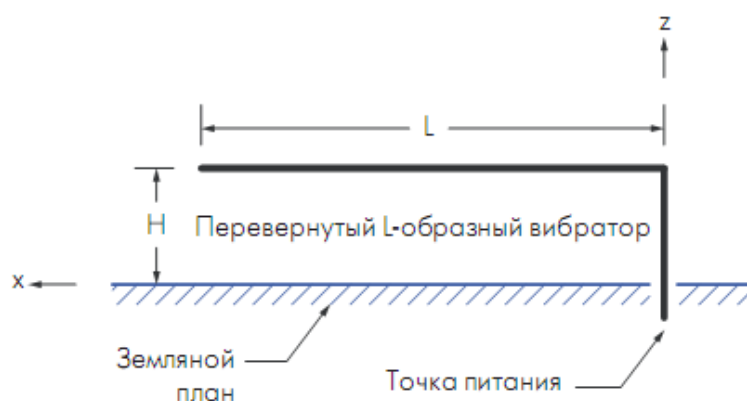


Рис.1.5 – Перевернутый L-образный вибратор (ILA)

В отечественной литературе вибратор этого вида известен как Г-образный. 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. Перевернутая L-антенна (Inverted L Antenna, ILA) достаточно проста в изготовлении. По многим электрическим характеристикам она подобна короткой монополюсной антенне. Так, ее диаграмма направленности почти идентична ДН короткого монополя, который является всенаправленным в плоскости, перпендикулярной его оси, и не излучает в соосном направлении. Однако вследствие дополнительного излучения, обусловленного геометрией перевернутого L-вибратора, его ДН несимметрично деформирована в плоскости, где у обычного вибратора ДН круговая. Как и у обычного монополя, активное сопротивление перевернутой L-антенны мало (не более 4 Ом), а реактивное составляет сотни ом, что затрудняет согласование с питающей линией. В случае электрически малых ILA, для которых выполняются условия $kh < 0,5$ и $kL < 0,5$, при расчете активной составляющей внутреннего сопротивления также следует учитывать диаметр провода, из которого изготовлена антенна.

Помимо проволочных ILA возможен альтернативный вариант их выполнения на основе микрополосковых линий. Так, для ноутбуков

предложено использовать печатный вариант двухдиапазонной антенны, в которой ILA выполнена в виде щели (рис.1.6,а).

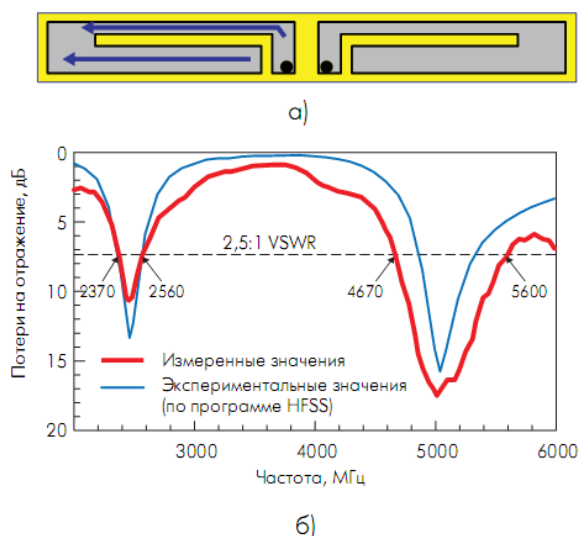


Рис.1.6 – Печатный диполь с плечами в виде ILA (а) и его частотная характеристика (б)

Габариты антенны – 5 x 34 мм². Она рассчитана на работу в диапазонах частот WLAN сетей (2,4/5,2ГГц). При этом ширина полосы пропускания в первом диапазоне, согласно полученным результатам экспериментальных измерений, превышает 7%, а во втором – 10%.

Как и всякое многодиапазонное решение, такая антенна проигрывает в направленных свойствах полуволновым вибраторам, рассчитанным на конкретный диапазон. Место указанной антенны в ряду других альтернативных решений показано на рис.1.7 (вариант 5). Как видно, плата за компактность в данном случае незначительна и не превышает 3,1дБи по сравнению с печатным диполем (рис. 1.7, вариант 6), коэффициент усиления которого в диапазоне 2,4ГГц равен 5,8дБ по отношению к изотропной антенне, т. е. 5,8дБи. Для частот в районе 5,2ГГц эта разница составляет всего 0,2дБи. Следует иметь в виду, что для многих приложений предпочтительна минимальная направленность антенны.

№	Внешний вид антенны	Коэффициент усиления, дБи	
		2,4 ГГц	5,2 ГГц
1		4,3	3,9
2		4,7	3,8
3		4,2	2,4
4		4,2	3,6
5		2,7	4,9
6		5,8	
7			5,1

Рис.1.7 – Коэффициенты усиления различных вариантов печатных диполей

Перевернутая F-образная антенна (Inverted F antenna, IFA) стала следующим шагом в развитии конструкции L-вибратора. Антенна этого типа представляет собой, по сути, два соосных L-вибратора разной длины (рис.1.8)

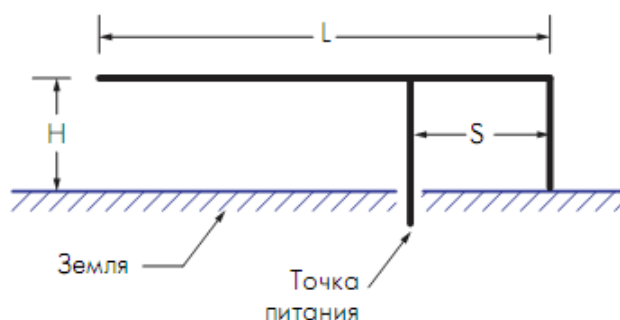


Рис.1.8 – Перевернутая F-образная антенна (IFA)

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. 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.

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 (рис.1.9).

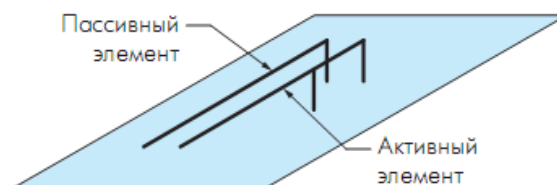


Рис.1.9 – Двойная перевернутая F-антенна (DIFA)

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. Расширение полосы рабочих частот, требует некоторой модификации антенны.

Следующим шагом развития таких антенн послужили планарные перевернутые F-образные вибраторы. Конструкция антенн типа PIFA сложнее, чем ILA, IFA и DIFA(рис.1.10).

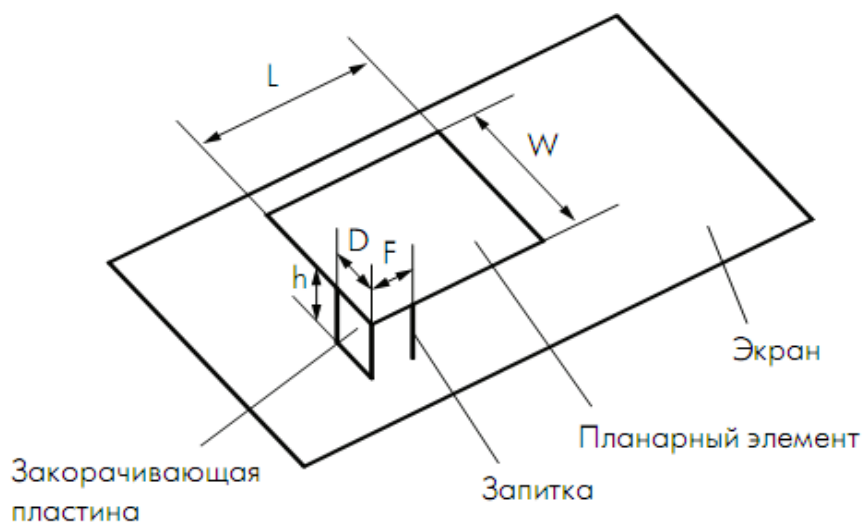


Рис.1.10 – Однодиапазонная планарная F-образная антенна (PIFA)

Это приводит к усложнению ее проектирования и анализа, электрические характеристики PIFA зависят от размеров верхней излучающей пластины, соотношения длин ее сторон, высоты этой пластины над экраном,

размеров и положения вертикальной заземляющей стенки, точки запитки антенны. Малые размеры антенны PIFA возможны благодаря тому, что ее резонансная частота определяется, главным образом, полупериметром горизонтальной излучающей пластины. Ширина полосы пропускания PIFA напрямую зависит от ширины D вертикальной закорачивающей пластины. Наибольшая полоса соответствует случаю совпадения ширины вертикальной пластины D и длины контактирующей с ней стороны горизонтального излучателя W .

Но все эти антенны имеют существенный недостаток, это узкий диапазон рабочих частот, который при существующей тенденции уплотнения и увеличения числа частот диапазона вещания с 450 МГц до 2100 МГц, а использование в смартфонах и ноутбуках технологии WIFI в диапазоне частот 2,40 – 2,84 ГГц, 5,15 – 5,35 ГГц и Bluetooth в диапазоне частот 2,40 – 2,48 ГГц приводит к необходимости разработки антенны которая обеспечит работу на данных частотах.

Широкое распространение получил метод расширения полосы пропускания рассматриваемого типа антенн за счет фрезеровки в горизонтально расположенной пластине прорезей различной геометрии (рис.1.11). Разрезы к тому же увеличивают электрическую длину антенны, что позволяет еще уменьшить ее габариты, а при определенных геометрических соотношениях PIFA ей можно придать многодиапазонные свойства.

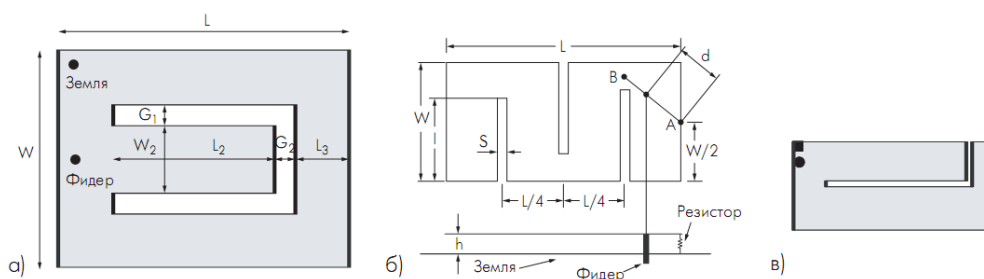


Рис.1.11 – Варианты расширения полосы пропускания PIFA за счет создания различных прорезей: U-образной (а), меандр (б), L-образной (в)

Впервые возможность реализации многодиапазонной PIFA засчет фрезеровки в горизонтальной пластине L-образной прорези была предложена в 1997 году учеными Университета Бирмингема. Разрез горизонтальной пластины фактически разделил ее на два независимых сегмента (для частот 900 МГц и 1,8ГГц). – 110МГц. Полученные результаты послужили толчком к появлению нового направления конструирования PIFA, базирующегося на различных конфигурациях прорезей. Первоначально речь шла о разрезах простых геометрических форм. По мере усложнения геометрии разрезов расчет параметров PIFA и их оптимизация стали возможны лишь с помощью компьютерного моделирования . Устойчивая работа PIFA с прорезями на нескольких частотных резонансах обеспечивает их многодиапазонность. Однако в случаях, когда кратность частот невозможна, нередко прибегают к тривиальным решениям, состоящим в комбинации нескольких различных меандров (рис.1.12).

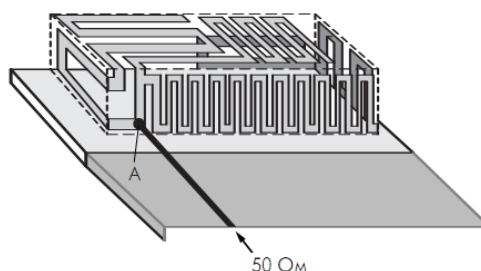


Рис.1.12– Многодиапазонная антенна на основе PIFA

Исследования в этом направлении позволили получить более сложные, чем меандр, конструкции PIFA, обеспечивающие работу мобильного средства связи одновременно в четырех-пяти диапазонах электромагнитного спектра. Оптимизация расположения и размеров прорезей в конструкции чрезвычайно сложная задача. Малые изменения геометрических размеров могут привести к заметному ухудшению эффективности антенны. Таким образом, антенны PIFA многодиапазонных мобильных средств связи в ходе эволюции превратились, по сути, в самый сложный антенный комплекс, состоящий из нескольких взаимосвязанных активных и пассивных элементов. Фактически комбинация

различных по конструкции сегментов в едином многополосном антенном модуле стала основным методом в арсенале разработчиков широкополосных радиотехнических средств.

Но на данном этапе не удастся создать серийный образец антенны работающей стабильно в заданном диапазоне частот, имеющей малые габариты, простоту конструкции и себестоимость.

1.2 Перспективы применения фрактальных антенн в мобильных телефонах

Как один из вариантов решения проблемы многодиапазонности антенны для мобильного телефона рассмотрим новый класс антенн – фрактальные антенны.

Фрактальная геометрия является продолжением классической геометрии, фракталами называют геометрические объекты: линии, поверхности, пространственные тела, имеющие сильно изрезанную форму и обладающие свойствами самоподобия. Слово фрактал произошло от латинского слова *fractus* и переводится как дробный или ломанный. Фрактальная антенна – это антенна, активная часть которой имеет вид самоподобной кривой или какой либо другой подобно делящейся или состоящей из подобных сегментов фигуры. Что бы иметь более понятное представление о такой форме, нужно обратиться к фрактальной геометрии которая утверждает что практически любые природные формы с математической точки зрения являются фракталами. Получить фрактал можно разделив фигуру на всё более мелкие объекты, деление может осуществляться бесконечно. Таким образом, любая из полученных фигур будет делиться на подобные, и в свою очередь являться частью такой же фигуры.

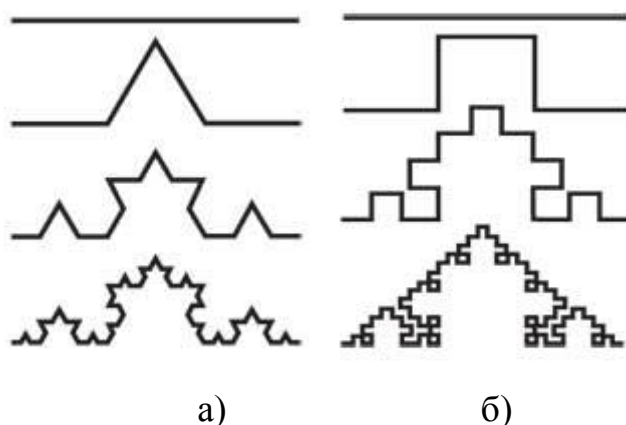


Рис.1.13 – Изгиб в виде треугольника, метод фон Коха (а) или квадрата, метод Германа Минковского(б)

Впервые на практике для антенн эти принципы применил в 90-е года XX века американский инженер Натан Коэл. Коэл, задумавшись о принципах фрактальной геометрии, взял обычную медную проволоку и придал ей форму самоподобной ломанной кривой. Кривая эта, открытая в 1904 году немецким математиком Х. фон Кохом, – фрактал, ломаная линия, которая выглядит как серия бесконечно уменьшающихся треугольников, вырастающих один из другого подобно крыше многоступенчатой китайской пагоды. Как и все фракталы, эта кривая "самоподобна", то есть на любом, самом малом отрезке имеет один и тот же вид, повторяя саму себя. Строят такие кривые путем бесконечного повторения простой операции. Линия делится на равные отрезки, и на каждом делается изгиб в виде треугольника (метод фон Коха) или квадрата (метод Германа Минковского) рис. 1.13. Затем на всех сторонах получившейся фигуры в свою очередь выгибаются аналогичные квадраты или треугольники, но уже меньшего размера. Продолжая построение до бесконечности, можно получить кривую, "сломанную" в каждой точке. Строя кривую Коха, Коэл ограничился только двумя-тремя шагами. Затем он наклеил фигуру на небольшой лист бумаги, присоединил ее к приемнику и с удивлением обнаружил, что она работает не хуже обычных антенн.

Примером простого плоскостного фрактала является треугольник

Серпинского (рис. 1.14), придуманный польским математиком Вацлавом Серпинским в 1915 году. Иногда этот фрактал называют «решёткой» или «салфеткой» Серпинского.

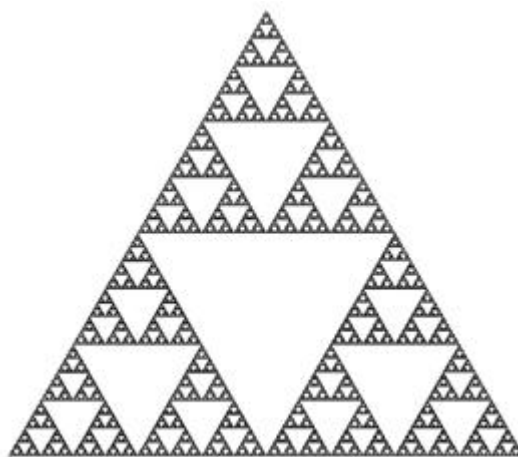


Рис.1.14 – Треугольник Серпинского

Начальная геометрическая фигура – равносторонний треугольник разбитый на четыре меньшие треугольные области, соединенный отрезками середины сторон исходного треугольника. Удалив внутренность маленькой центральной треугольной области, повторим процесс для каждого из трех оставшихся маленьких треугольников и получим следующую итерацию. И так далее, как показано на рис. 1.15.

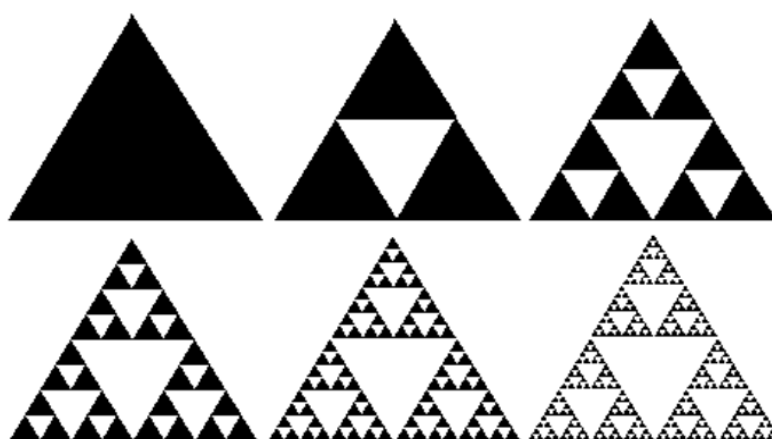


Рис. 1.15 – Итерации салфетки Серпинского (0,1,2,3,4,5 порядков)

1.3 Задачи исследования

В дипломной работе будет проанализирована возможность использования антенн, выполненных на основе фрактальной геометрии. С целью создания многодиапазонной антенны для частот диапазона $f_1=0,9\text{GHz}$, $f_2=1,8\text{ GHz}$, $f_3=2,4\text{ GHz}$, $f_4=4,2\text{ GHz}$ будет рассмотрена антенна на основе регулярного фрактала – салфетки Серпинского (рис.1.14) и модифицированная кривая Коха (рис.13,а) и сравнены полученные характеристики фрактальных антен с характеристиками классических конструкций антен для мобильного телефона.

Для анализа многодиапазонных антенн для мобильного телефона будем использовать аппарат анализа цепей с сосредоточенными и распределенными параметрами, теорию матриц, аппарат математического анализа и численные методы. Имитационное моделирование СВЧ устройств будет выполняться с использованием прикладных пакетов MathCAD, Microwave Office, AnsoftHFSS. Кроме того, предполагается натурное макетирование и экспериментальное исследование степени согласования и направленных свойств салфетки Серпинского.

2 АНАЛИЗ САЛФЕТКИ СЕРПИНСКОГО

2.1 Геометрия салфетки Серпинского

Первоначальная геометрическая структура салфетки Серпинского представляет собой равносторонний треугольник. Итеративный алгоритм построения множества можно представить следующим образом: на серединах каждой стороны треугольника строится новый треугольник, площадь которого в 4 раза меньше площади исходного (рисунок 2.1).

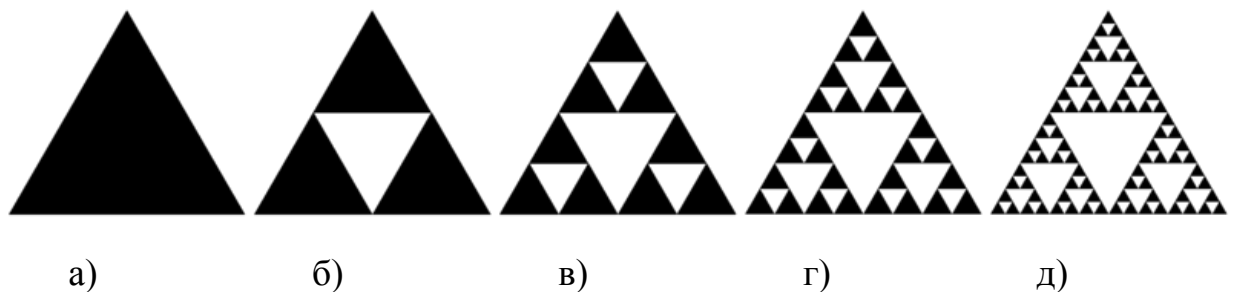


Рисунок 2.1 – Салфетка Серпинского а) исходный элемент, б) первая итерация, в) вторая итерация, г) третья итерация, д) четвертая итерация

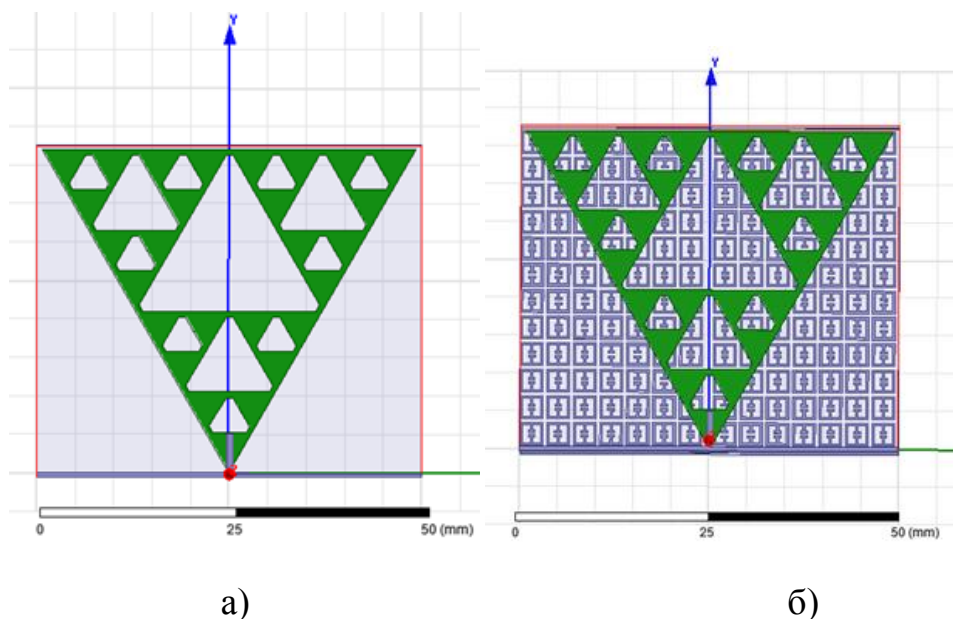
В результате получается «дырявая» фигура, состоящая из бесконечного числа изолированных точек. Фрактальная размерность салфетки Серпинского подсчитывается по формуле:

$$D = \frac{\ln 3}{\ln 2} = 1.5849 \quad (2.1)$$

Исследования салфетки Серпинского проводилось при помощи программы электродинамического моделирования HFSS. Антенна рассчитана на первую резонансную частоту 900 МГц. Исследовались классические односторонние монополи Серпинского третьей итерации и модифицированные (с использованием метаматериалов).

2.2 Монопольная салфетка Серпинского

Основа конструкции монополя – равносторонний треугольник. Высота треугольника равняется $\lambda/8$ и составляет 42 мм для первой резонансной частоты (900 МГц). Сторона равностороннего треугольника исходного элемента равна 48.5 мм. Подложка антенны выполнена в размерах $50 \times 42.0 \times 3$ мм из стеклотекстолита марки FR4 с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 5.5$. Антенна расположена на земляной плате в виде пластины из меди размерами $50 \times 31 \times 1$ мм. Антенна питается с острого конца исходного элемента с помощью коаксиального кабеля. Высота питающего штыря – 5.5 мм, его радиус – 0.5 мм. Исследования проводились в диапазоне частот 0,1...10 ГГц. Свойства антенны оценивались по величине коэффициента отражения (S_{11}), КСВ, по форме и параметрам диаграммы направленности, величине входного сопротивления на резонансных частотах. Модели салфетки Серпинского, построенные в HFSS, показаны на рисунке 2.2.



а) классическая салфетка; б) салфетка с метаструктурой в виде альтернативного элемента ENG-среды

Рисунок 2.2 – Салфетки Серпинского третьей итерации:

Рассмотрим полученные значения коэффициента отражения S_{11} .

Для сравнения выведем в одной системе координат S_{11} для обеих антенн (рисунок 2.3).

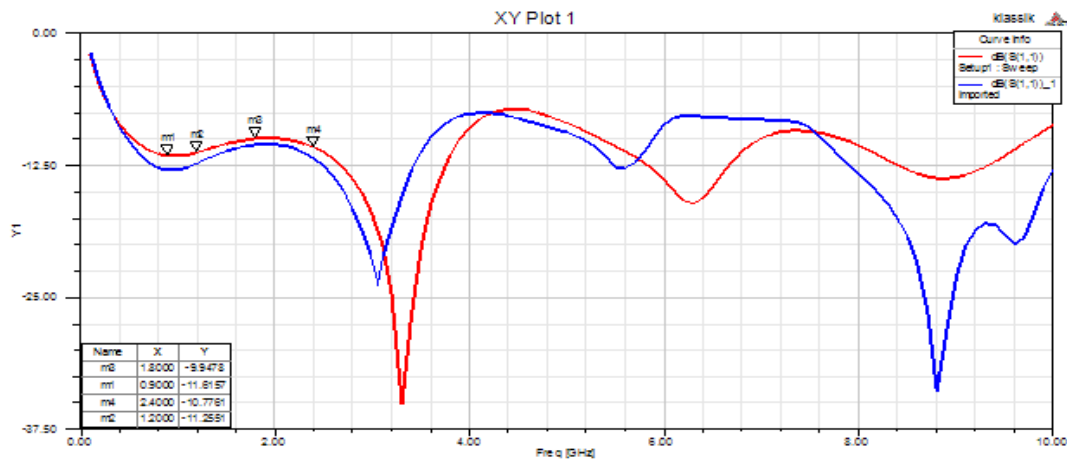


Рисунок 2.3—Частотные зависимости S_{11} салфеток Серпинского (0,1...10ГГц):

— $\text{dB}(S(1,1))$ Setup: Sweep - классическая салфетка Серпинского третьей итерации;

— $\text{dB}(S(1,1))_L1$ Imported - салфетка Серпинского в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды

Рассчитаем полосу пропускания на заданных резонансных частотах по уровню -3 дБ и занесем их в таблицу 2.1.

Таблица 2.1– Полоса пропускания салфетки Серпинского на резонансных частотах

Резонансная частота, ГГц		Полоса пропускания по уровню -3дБ, %	
классическая	с метаструктурой	классическая	с метаструктурой
3.28	3.03	1.83	1.85
6.26	8.79	10.86	1.02

По результатам определения полосы пропускания салфетки Серпинского по уровню -3дБ можно сделать следующие выводы.

1) С помещением метаструктуры на обратную сторону подложки значение коэффициента отражения S_{11} на резонансах значительно уменьшается. Это

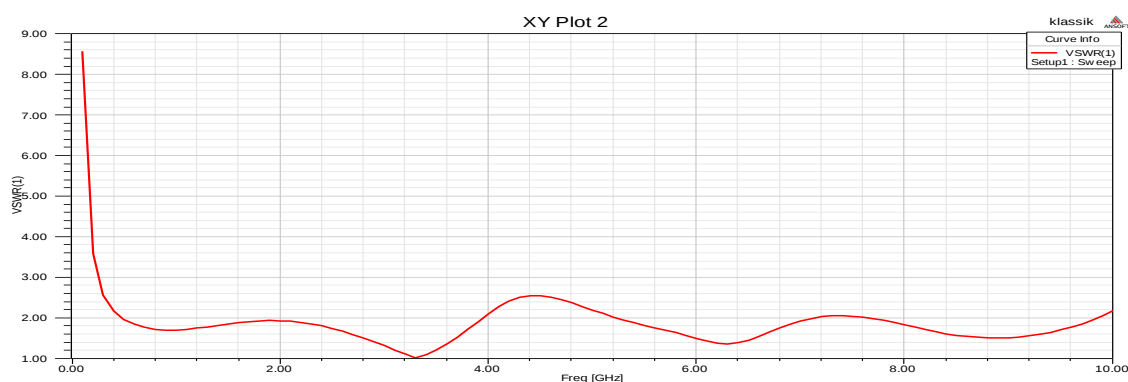
говорит о том, что нам удалось существенно улучшить качество согласования антенны с питающим портом путем введения в конструкцию метаструктуры на основе ENG-среды.

2) С увеличением порядка частотного резонанса полоса пропускания антенны уменьшается.

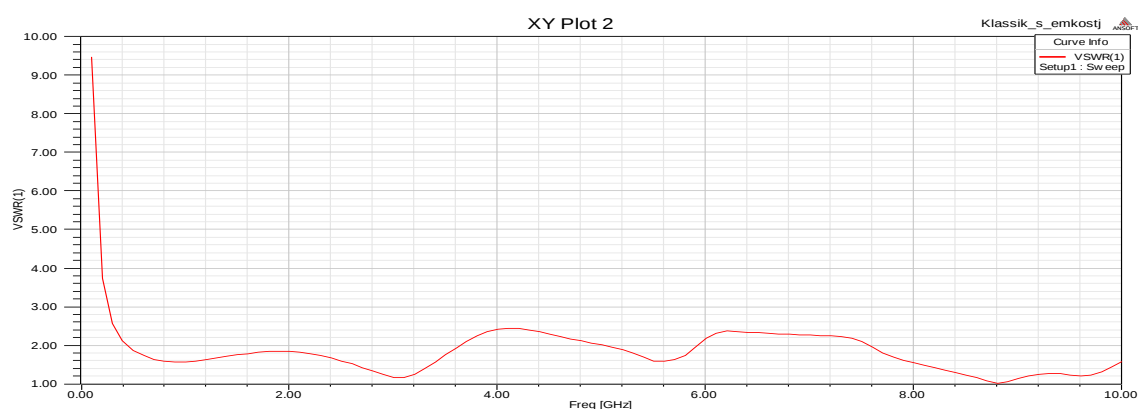
3) С введением метаструктуры на поверхности подложки появляются дополнительные резонансы и при этом наблюдается сдвиг самих резонансов в сторону понижения частоты.

4) Наблюдается многорезонансный характер частотной зависимости коэффициента отражения, что позволяет применять одну антенну сразу в нескольких частотных диапазонах.

Рассмотрим КСВ на заданных частотах(рисунок 2.4).



а)



б)

Рисунок 2.4 – КСВ в диапазоне частот от 0.1 ГГц и до 10 ГГц:

а) классическая салфетка Серпинского третья итерация;

б)салфетка Серпинского в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды

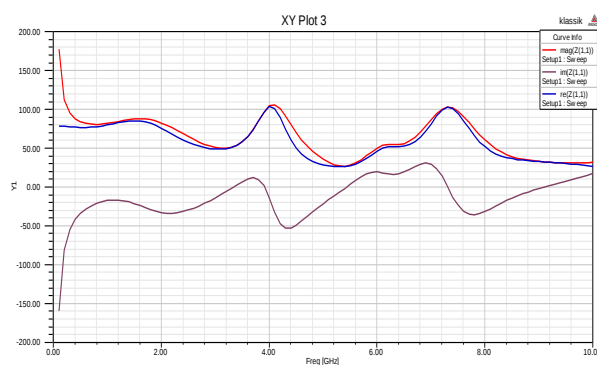
Значения КСВ на резонансных частотах занесем в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Значения КСВ на резонансных частотах

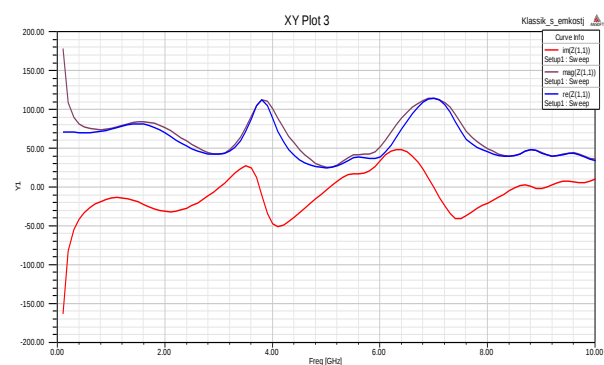
Заданная частота, ГГц		КСВ	
классическая	с метаструктурой	классическая	с метаструктурой
0.9	0.9	1.67	1.61
1.2	1.2	1.77	1.65
1.8	1.8	1.92	1.82
2.4	2.4	1.84	1.69

Из таблицы 2.2 видно, что значение КСВ всюду менее 2 в широком частотном диапазоне. На всехзаданных частотах (0,9...2,4ГГц) КСВ находится в пределах 1.6...1.9, то есть, обе антенны, и классическая салфетка, и салфетка с метаструктурой хорошо согласованы с цепями питания, что позволяет использовать антенну на заданных в ТЗ частотах.

Рассмотрим частотные зависимости входных импедансов на резонансных частотах (рисунок 2.5).



а)



б)

а) классическая салфетка Серпинского:

— - модуль, — - мнимая часть, — - реальная часть;

б) салфетка Серпинского в сочетании с метатруктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды:

— - мнимая часть, — - модуль, — - реальная часть

Рисунок 2.5– Значение входных сопротивлений салфетки Серпинского третьей итерации в диапазоне частот от 0.1 ГГц до 10 ГГц

Занесём полученные в среде электродинамического моделирования HFSS значения модуля входного сопротивления салфетки Серпинского на резонансных частотах и вычисленную по этим данным степень рассогласования со входом в % в таблицу 2.3

Таблица 2.3 – Модуль входного сопротивления на резонансных частотах и показатель рассогласования антенны со входом

Частота ГГц	Классическая салфетка		Салфетка с метаструктурой	
	Модуль входного сопротивления, Ом	Рассогласование со входом, %	Модуль входного сопротивления, Ом	Рассогласование со входом, %
0.9	82.35	64,67	75.76	51,52
1.2	86.11	72,22	80	60
1.8	88	76	82.3	64,6
2.4	67.2	34,4	60.7	21,4

Результаты расчёта входного сопротивления салфетки Серпинского (рисунок 2.5) показывают, что антенна обладает явной логарифмической периодичностью частотной зависимости входного сопротивления, резонансы которой совпадают с резонансами коэффициента отражения. Исходя из полученных данных (таблица 2.3) видим, что степень рассогласования антенны с питающим устройством велика и находится в пределах от 21,4% (салфетка с метаструктурой) до 76% (салфетка без метаструктуры).

Для формирования ДН необходимо учитывать, как по поверхности антенны растекается электрическое поле, которое играет непосредственную роль в формировании ДН. Рассмотрим распределение магнитуды электрического поля по поверхности антенны (рисунок 2.6).

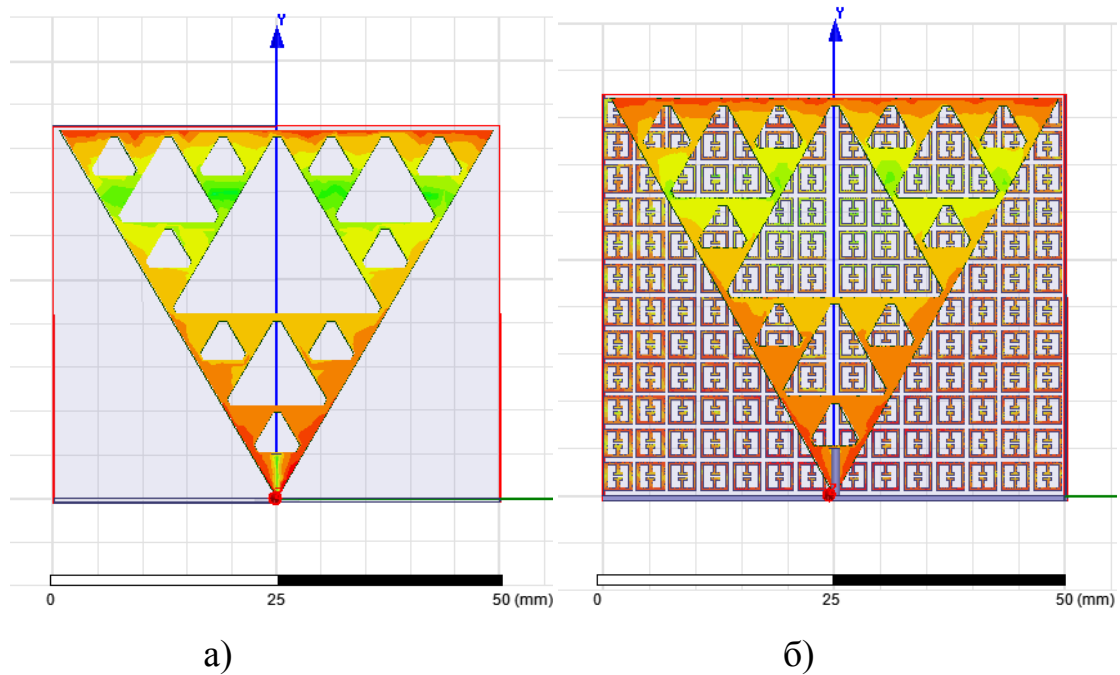


Рисунок 2.6 – Распределение поля по поверхности антенны:

а) классическая салфетка Серпинского третья итерация,

б) салфетка Серпинского в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды

Из рисунка 2.6 видно, что в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды интенсивность магнитуды поля на поверхности возрастает, что положительно влияет на формирование ДН.

Рассмотрим ДН в дальней зоне на заданных частотах(рисунок 2.7).

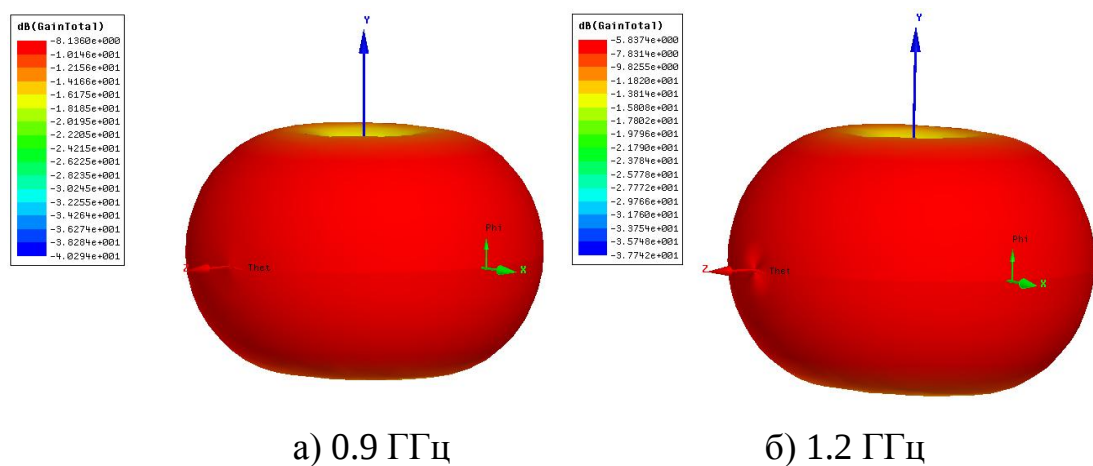
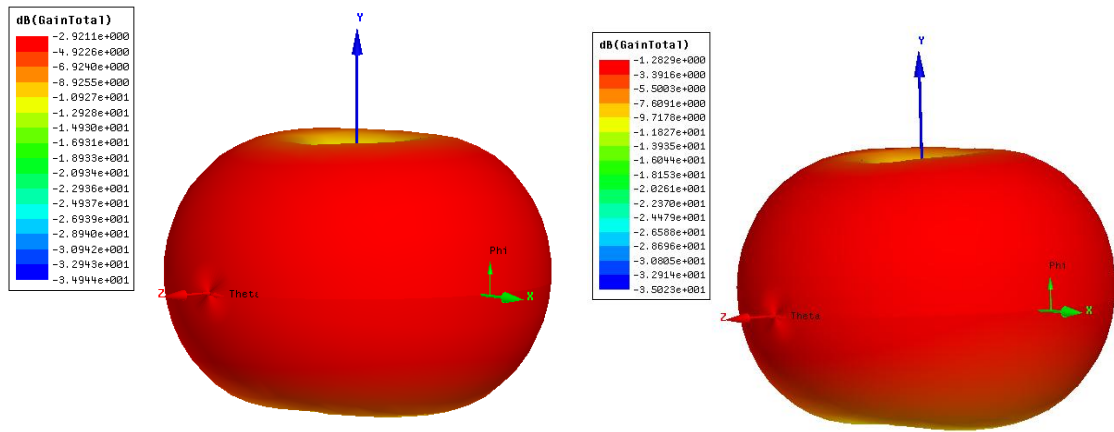


Рисунок 2.7 3D ДН салфетки Серпинского

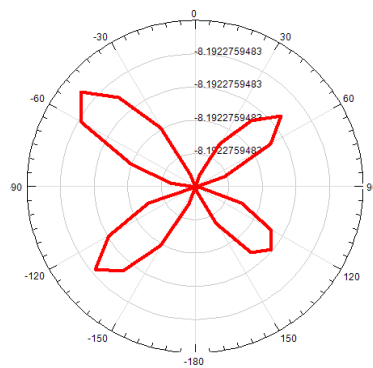


в) 1.8 ГГц

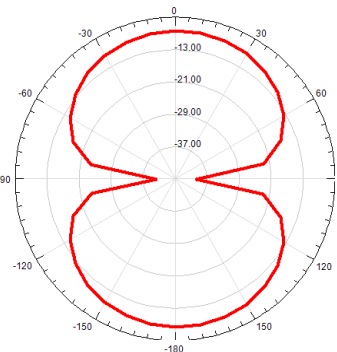
г) 2.4 ГГц

Рисунок 2.7 – 3D ДН салфетки Серпинского

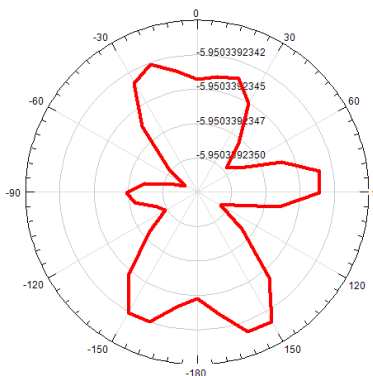
Изображенная на рисунке 2.7, ДН на частотах от 0.9 ГГц до 1.8 ГГц имеет тороидальную форму, а на частоте 2.4 ГГц (рисунок 2.7,г) – близкую к тороидальной, что говорит об устойчивости формы ДН в широком частотном диапазоне.



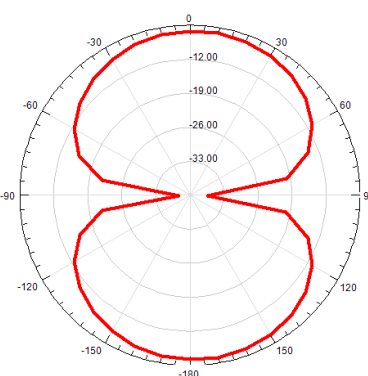
а) 0.9 ГГц



б) 0.9 ГГц



в) 1.2 ГГц



г) 1.2 ГГц

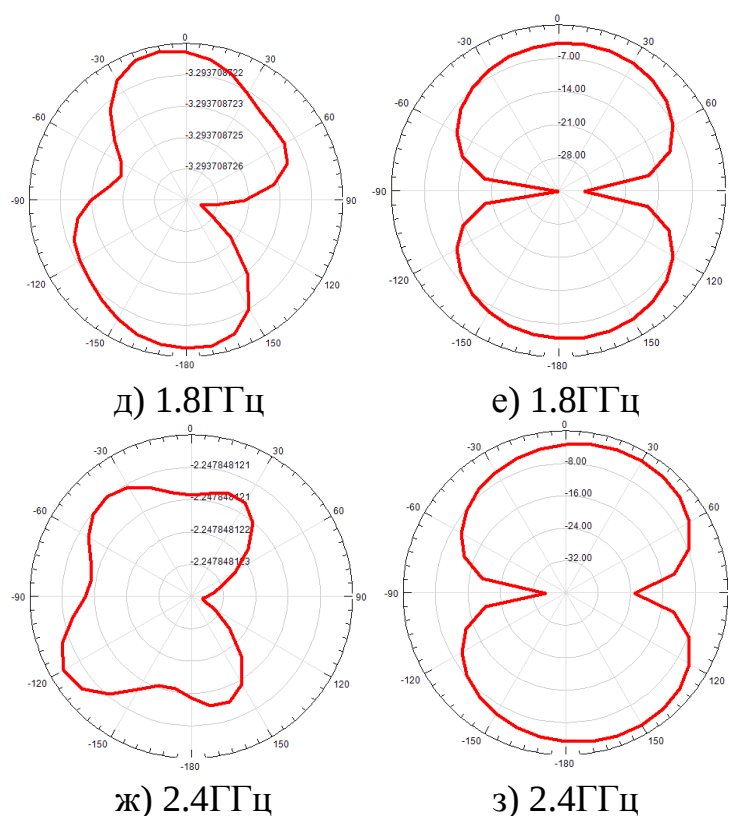


Рисунок 2.8 – ДН в разрезе салфетки Серпинского на заданных частотах: б), г), е), з)– в плоскости подложки, а), в), д), ж) – перпендикулярно плоскости подложки.

ДН, изображенные на рисунках 2.7 и 2.8, показывают, что антенна на частотах от 0.9ГГц до 2,4ГГц в плоскости подложки является слабонаправленной. Данная тенденция сохраняется и при рассмотрении ДН в разрезе. Замечательным свойством фрактальных антенн является проявление их скейлинговых свойств, которые в данном случае заключаются в том, что с повышением номера рабочей зоны в этом сечении форма ДН не изменяется при изменении частоты более чем в 2,5 раза! В плоскости подложки антенна имеетот двух до четырехлепестков на разных частотах, а перпендикулярно плоскости подложки ДН имеет форму четкой частотно независимой восьмерки.

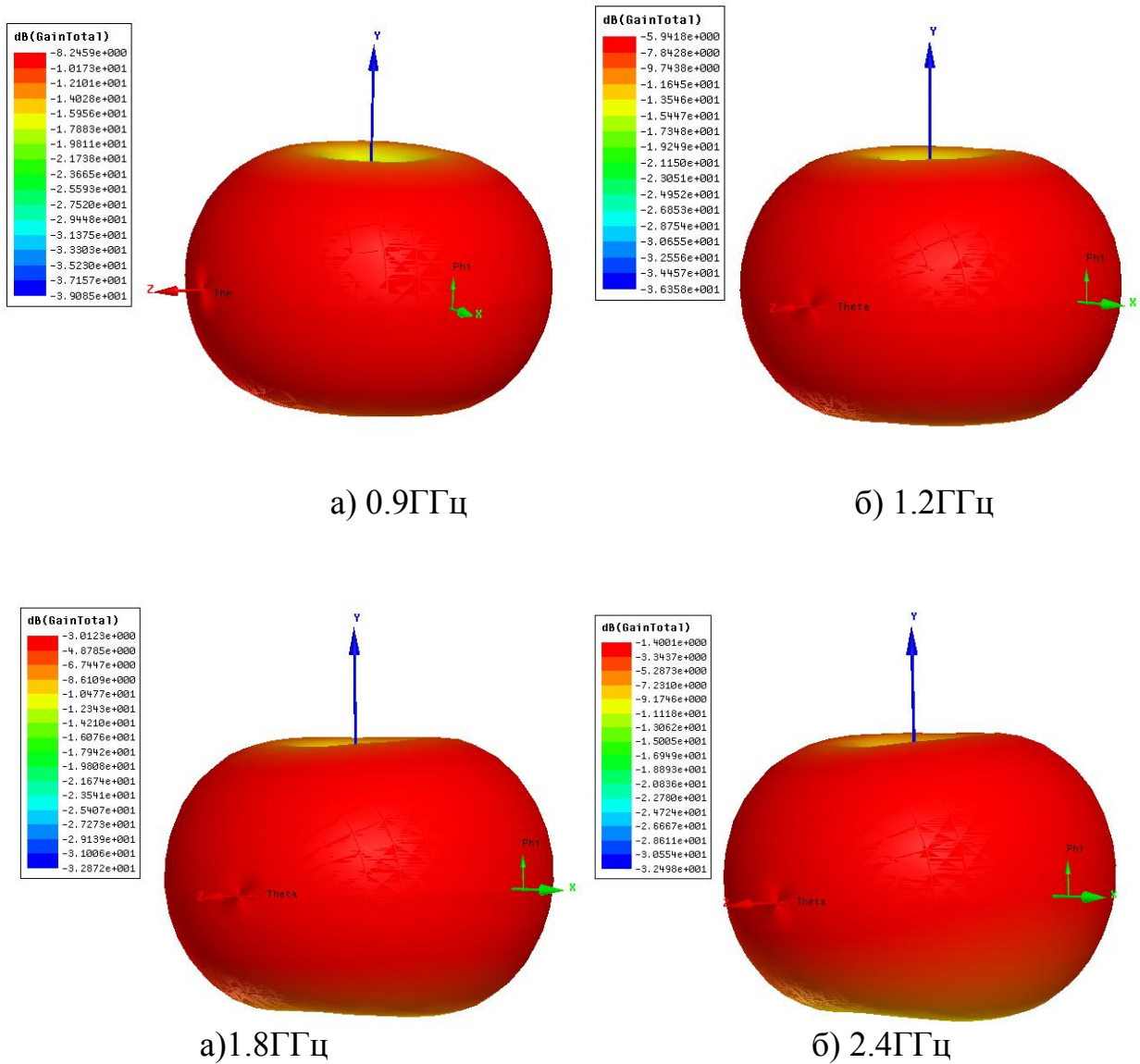
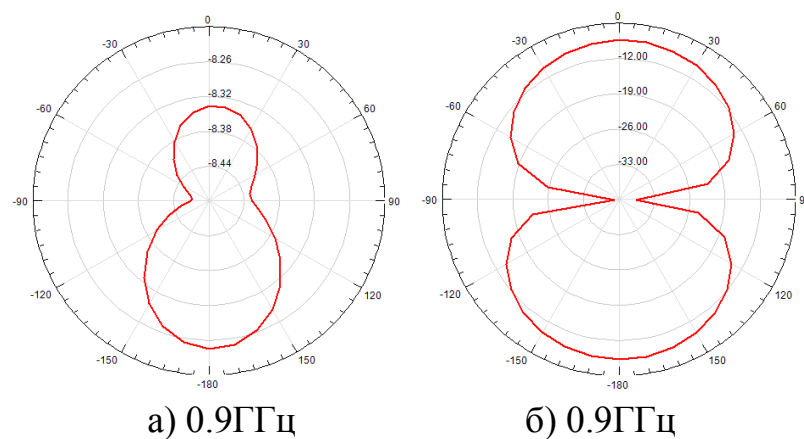


Рисунок 2.9 – 3D ДН салфетки Серпинского в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды

Изображенная на рисунке 2.9, ДН имеет на частоте от 0.9 ГГц до 2.4 ГГц тороидальную форму, так же как и у классической салфетки Серпинского.



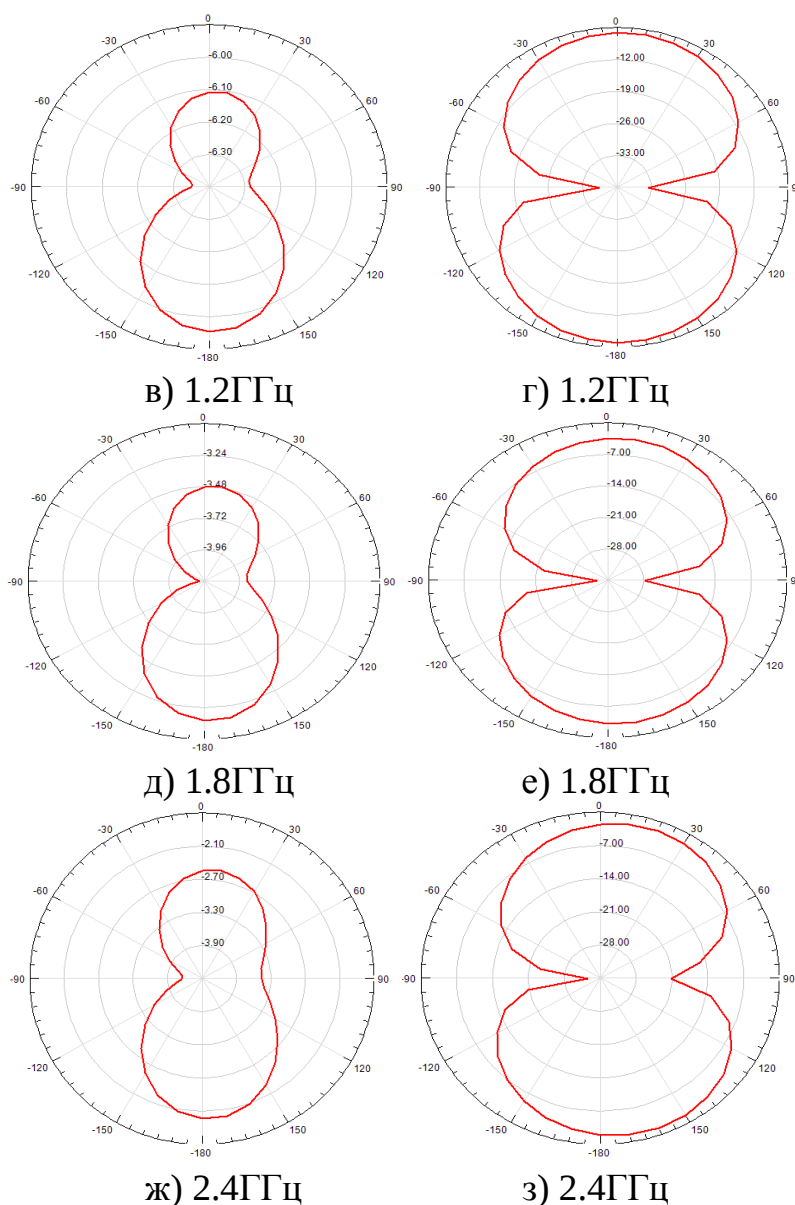


Рисунок 2.10 – ДН в разрезе салфетки Серпинского в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды на заданных частотах: а), в), д), ж) – в плоскости подложки; б), г), е), з) – перпендикулярно плоскости подложки

Из рисунка 2.10 следует, что на заданных частотах ДН антенны имеют повторяющуюся форму и в целом характеризуются как слабонаправленные. Диаграммы направленности на частотах от 0.9ГГц до 2.4ГГц в плоскости, параллельной подложке, имеют слабоизотропный вид, а в плоскости, перпендикулярной подложке, наблюдается два широких главных максимума

(рисунок 2.10, б, г, е, з). Антенна имеет ДН, которая сохраняет примерно одинаковую ширину лепестка в частотном диапазоне от 0.9 ГГц до 2.4 ГГц.

2.3 Модифицированная салфетка Серпинского

Для изучения качественных характеристик фрактальной антенны салфетки Серпинского была смоделирована модифицированная антенна.

Исходный элемент конструкции антенны представляет собой равносторонний треугольник. Высота треугольника равна одной восьмой длины волны первой резонансной частоты. На 900 МГц это составляет 42 мм. Сторона равностороннего треугольника исходного элемента равна 48.5 мм. Подложка антенны представляет собой стеклотекстолит марки FR4 размерами 50×42.0×3 мм. На второй стороне подложки выполнено травление метаструктуры в виде альтернативного элемента ENG-среды и альтернативного элемента DNG-среды. Внутри исходного элемента выполнены щелевые прорезы в виде пяти равнобедренных треугольников. Размеры треугольников подбирались экспериментальным путём в HFSS, путём понижения резонансной частоты с помощью уменьшения угла при основании равнобедренного треугольника фрактала более высокого порядка, чем первый. Антенна расположена на земляной плате, представляющей собой металлическую поверхность размерами 50×31×1 мм. Антенна запитана с острого конца исходного элемента, питание выполнено в виде коаксиального провода. Высота питающего штыря 5.5 мм, радиус 0.5 мм. Исследование проводилось в диапазоне частот от 0.1 ГГц до 10 ГГц. Свойства антенны оценивались при помощи коэффициента отражения (S_{11}), коэффициента стоячей волны (КСВ), диаграммы направленности (ДН), и входных сопротивлений на резонансных частотах. Модели салфетки Серпинского, построенные в HFSS, показаны ниже на рисунке 2.11.

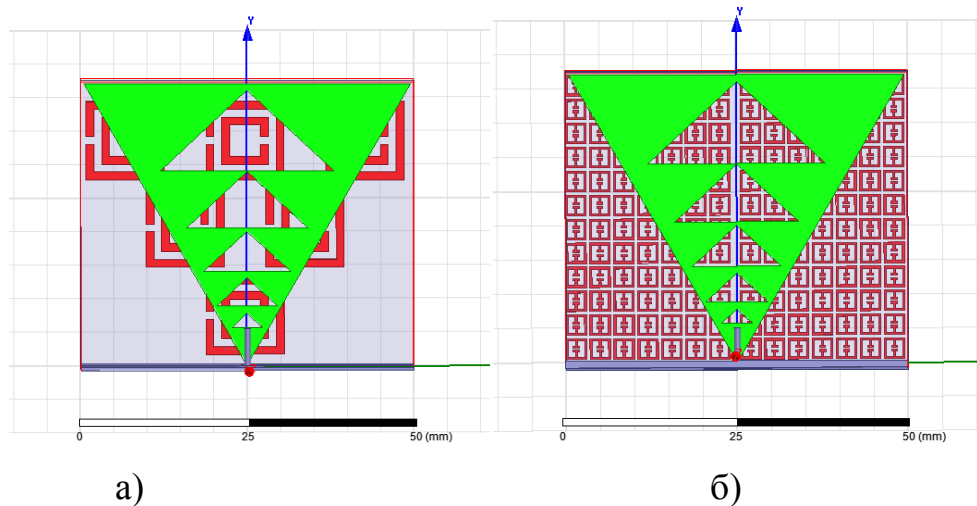


Рисунок 2.11 – Модифицированная салфетка Серпинского с метаструктурой:

а) в виде альтернативного элемента DNG-среды;

б) в виде альтернативного элемента ENG-среды.

Рассмотрим полученные значения коэффициента отражения S_{11} . Для сравнения выведем их в одной системе координат для обеих антенн.

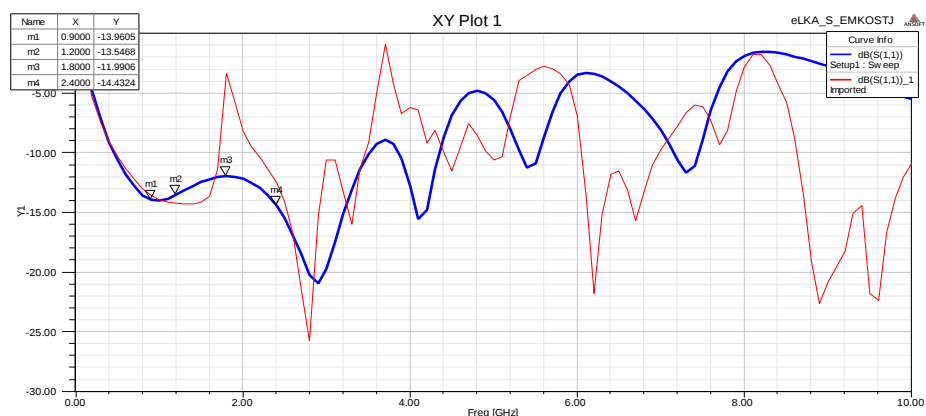


Рисунок 2.12 – S_{11} салфетки Серпинского в диапазоне частот 0.1...10 ГГц

— модифицированная салфетка Серпинского в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента DNG-среды,

— модифицированная салфетка Серпинского в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды.

Рассчитаем полосу пропускания на заданных резонансных частотах по уровню -3дБ и занесем их в таблицу 2.4:

Таблица 2.4 – Полоса пропускания модифицированной салфетки Серпинского на резонансных частотах

Резонансная частота, ГГц		Полоса пропускания по уровню -3дБ, %	
альтернативный элемент DNG-среды	альтернативный элемент ENG-среды	альтернативный элемент DNG-среды	альтернативный элемент ENG-среды
2.8	2.89	3.57	15.22
3.29	4.15	1.82	2.16.

При рассмотрении полосы пропускания салфетки Серпинского по уровню -3дБ можно сделать следующие выводы:

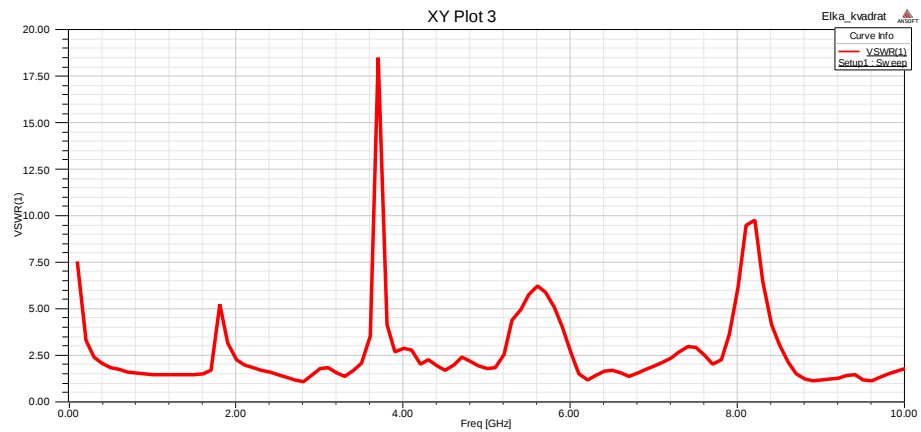
1) С введением метаструктуры в виде альтернативного элемента DNG-среды на поверхность подложки параметр коэффициента отражения S_{11} становится более глубоким, что говорит о хороших приёмо-передающих свойствах антенны;

2) С увеличением номера рабочей зоны полоса пропускания сужается в обоих случаях;

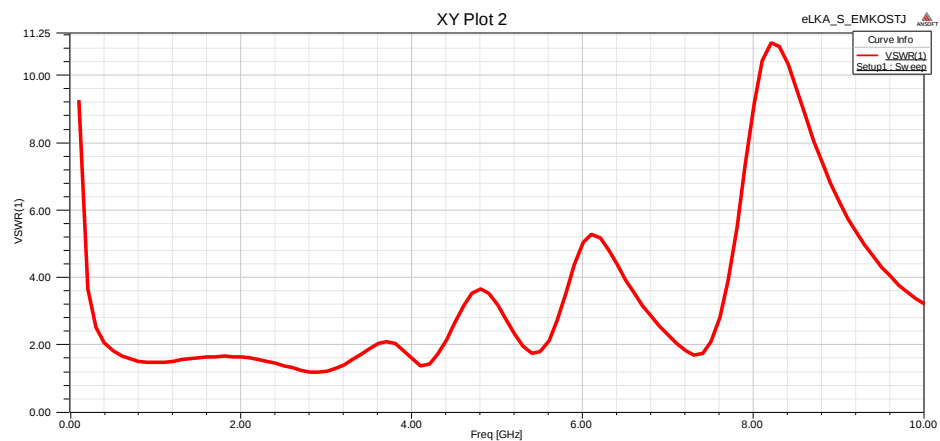
3) С введением метаструктуры в виде альтернативного элемента DNG-среды на поверхность подложки появляются дополнительные резонансные частоты и наблюдается сдвиг резонансных частот в сторону понижения частоты;

4) Наблюдается многорезонансный характер зависимости S_{11} , что позволяет применять антенну в нескольких частотных диапазонах

Рассмотрим КСВ на заданных частотах:



а)



б)

Рисунок 2.13 – КСВ в диапазоне частот от 0.1 ГГц и до 10 ГГц:

- а) модифицированная салфетка Серпинского в сочетании с мета структурой на подложке в виде альтернативного элемента DNG-среды,
 б) салфетка Серпинского в сочетании с мета структурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды.

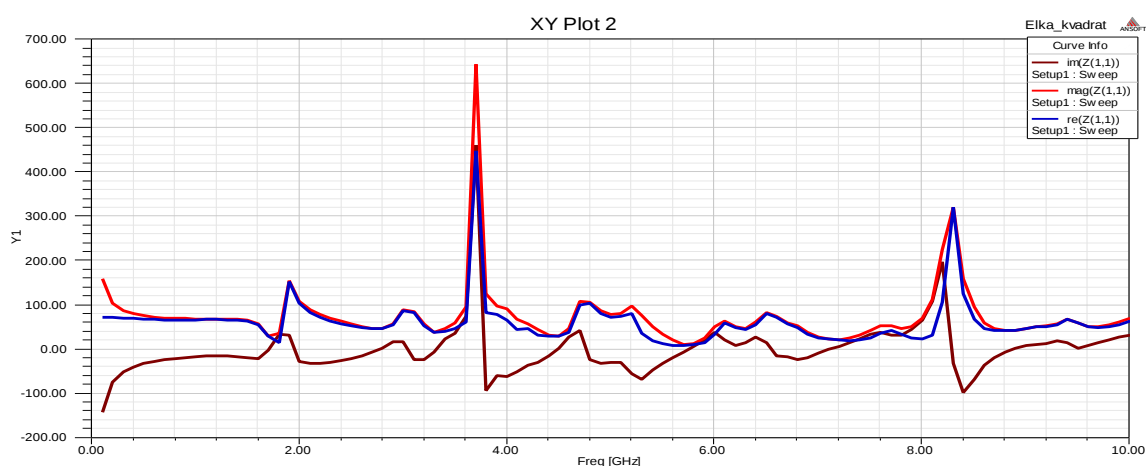
Значения КСВ на резонансных частотах занесем в таблицу 2.5:

Таблица 2.5 – Значения КСВ на резонансных частотах

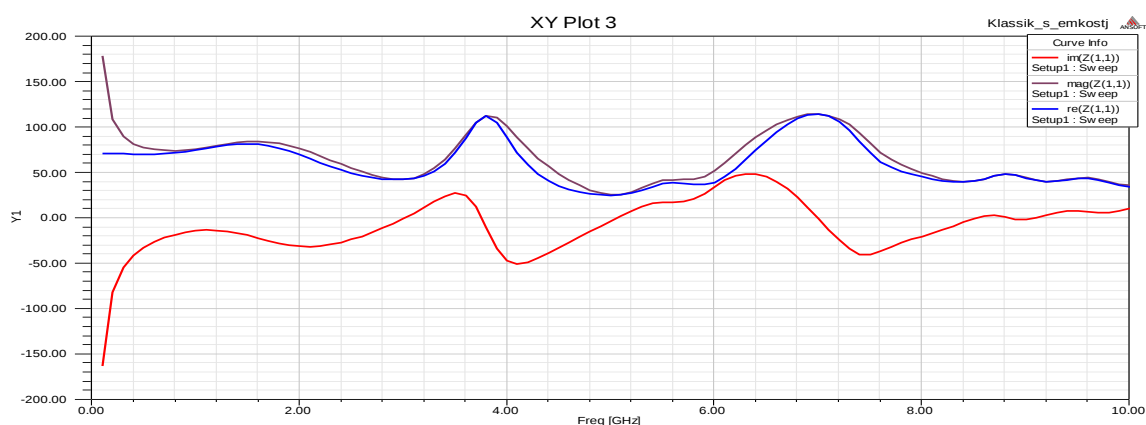
Заданная частота, ГГц		КСВ	
альтернативный элемент DNG-среды	альтернативный элемент ENG-среды	альтернативный элемент DNG-среды	альтернативный элемент ENG-среды
0.9	0.9	1.53	1.50
1.2	1.2	1.48	1.53
1.8	1.8	5.22	1.67
2.4	2.4	1.61	1.46

KCB для антенны с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды изменяется от 1.6 до 1.8, что говорит о хорошем согласовании этой антенны на рассматриваемых частотах. Мы также видим довольно хорошую согласованность антенны с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента DNG-среды, за исключением одной частоты 1.8 ГГц, на которой данная антенна плохо согласована. Это может быть вызвано недостаточно корректным определением параметров точности расчета и ограничением возможностей применяемого расчетного комплекса. Данное обстоятельство не позволяет использовать антенну на подложке в виде альтернативного элемента DNG-среды в заданных частотных диапазонах.

Рассмотрим рассчитанное значение входных импедансов на резонансных частотах.



а) — - модуль, — - мнимая часть, — - реальная часть;



б) — - мнимая часть, — - модуль, — - реальная часть;

Рисунок 2.14 – Значение входных сопротивлений салфетки Серпинского в диапазоне частот от 0.1 ГГц и до 10 ГГц :

- а) модифицированная салфетка Серпинского в сочетании с мета структурой на подложке в виде альтернативного элемента DNG-среды,
 б) модифицированная салфетка Серпинского в сочетании с мета структурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды

Занесём значения модуля входного сопротивления салфетки Серпинского на резонансных частотах в таблицу 2.6.

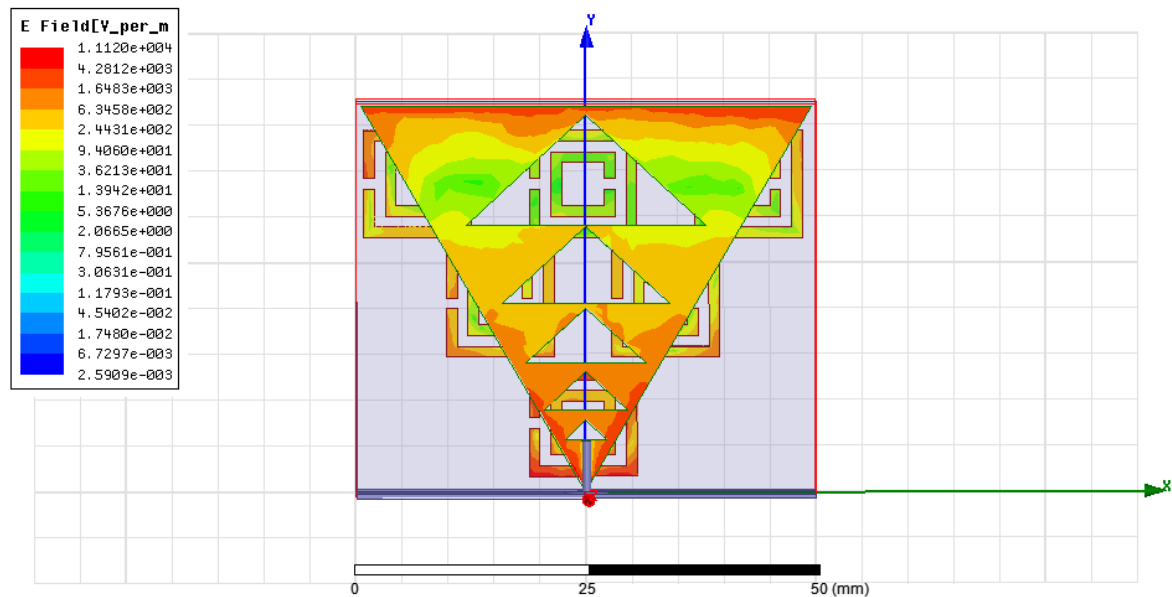
Таблица 2.6 – Значение модуля входного сопротивления на резонансных частотах

Заданная частота, ГГц		Значение модуля входного сопротивления, Ом	
альтернативный элемент DNG-среды	альтернативный элемент ENG-среды	альтернативный элемент DNG-среды	альтернативный элемент ENG-среды
0.9	0.9	66	73.8
1.2	1.2	66.9	78.5
1.8	1.8	56.6	82.3
2.4	2.4	56.2	70.1

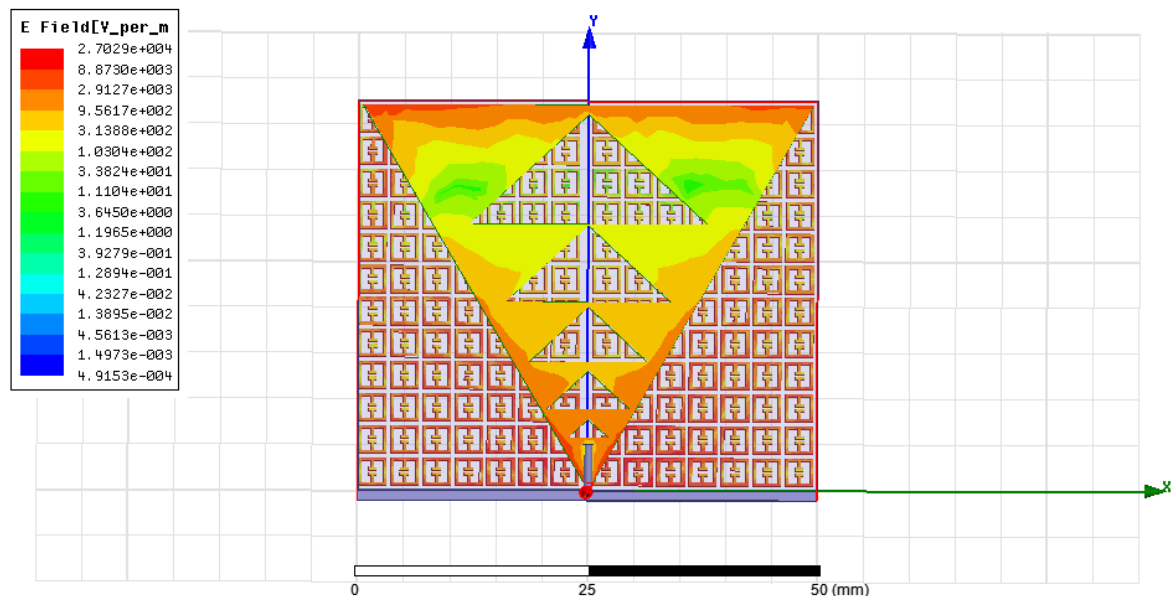
Результаты расчёта входного сопротивления модернизированной салфетки Серпинского показывают (рисунок 2.14), что антенна с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента DNG -среды обладает неплохой согласованностью, а антенна с мета структурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды хуже согласована с нагрузкой 50 Ом. Возможно, это связано с недостаточно строгим определением

параметров точности расчета и ограничением возможностей на применяемом расчетном комплексе.

Для формирования ДН необходимо исследовать поверхностное распределение электрического поля антенны, которое и порождает ДН. Рассмотрим распределение амплитуды напряжённости электрического поля по поверхности антенн в зависимости от структуры (рисунок .15).



a)



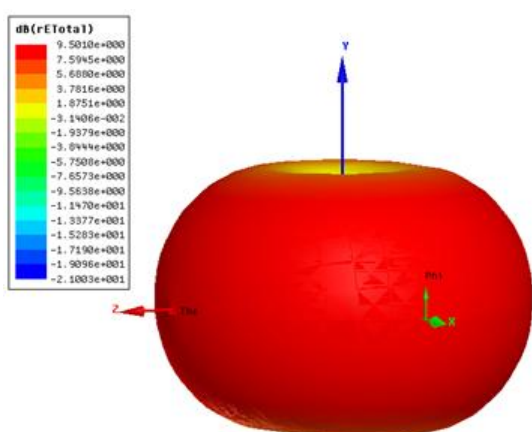
б)

Рисунок 2.15 – Распределение токов по поверхности антенны.

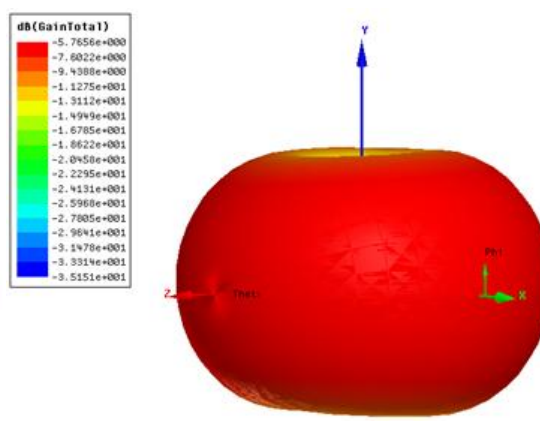
- а) модифицированная салфетка Серпинского в сочетании с мета структурой на подложке в виде альтернативного элемента DNG-среды,
- б) модифицированная салфетка Серпинского в сочетании с мета структурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды

Из рисунка 2.15 видно, что у обеих антенн интенсивность возбуждения металлизаций ближним полем убывает от угла запитки по направлению первого резонатора, который практически не возбуждается, интенсивность возбуждения металлизаций ближним полем возрастает по краям салфетки и на её углах, что оказывает влияние на формирование ДН.

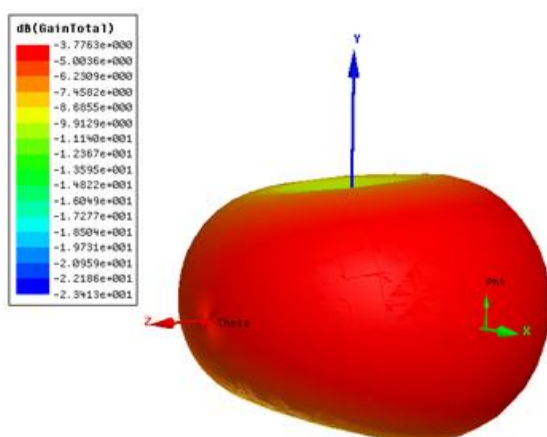
Рассмотрим ДН в дальней зоне на заданных частотах (рисунок 2.16)



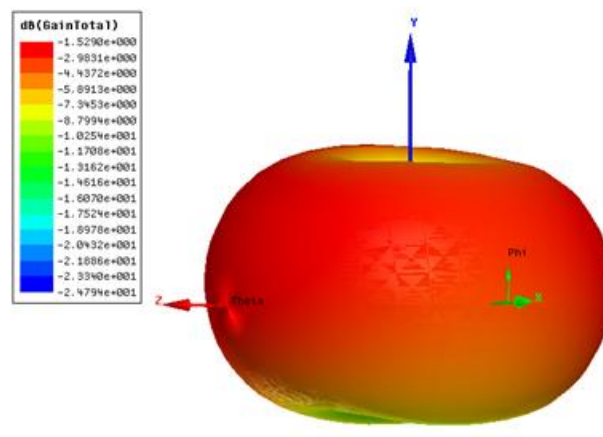
а) 0.9 ГГц



б) 1.2 ГГц



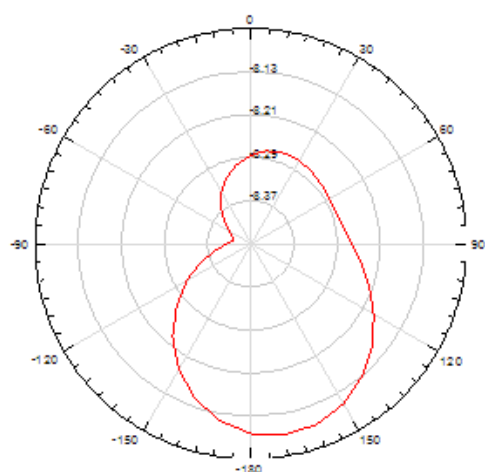
в) 1.8 ГГц



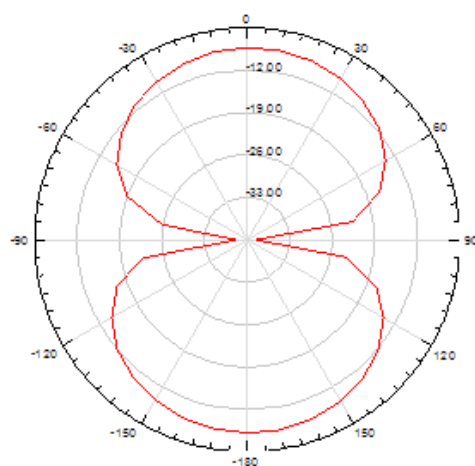
г) 2.4 ГГц

Рисунок 2.16 – 3D ДН модифицированной салфетки Серпинского в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента DNG-среды.

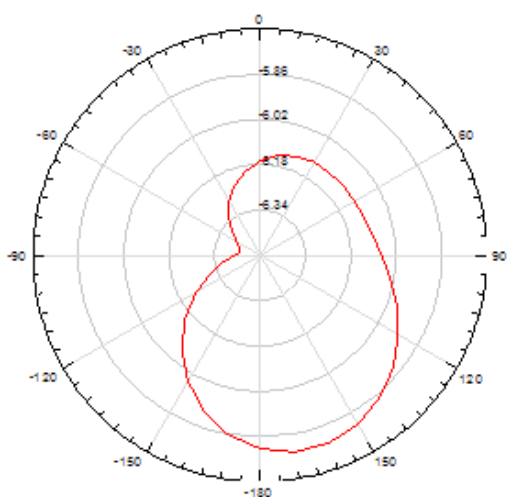
Изображенная на рисунке 2.16, а,б ДН на частоте от 0.9ГГц до 1.2ГГц имеет тороидальную форму, на частоте от 1.8ГГц до 2.4 ГГц , рисунок 2.7 в,г - близкую к тороидальной, и в целом характеризуются как слабонаправленные.



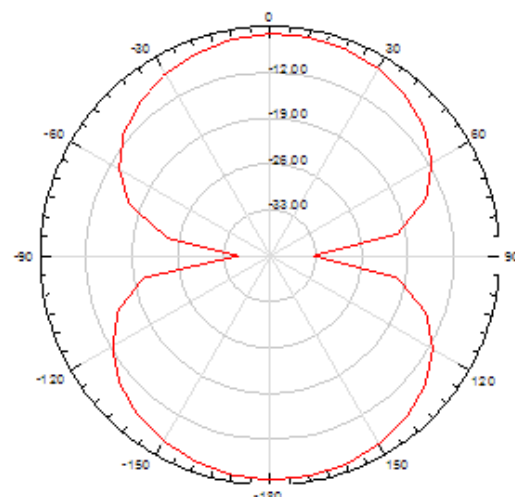
а) 0.9ГГц



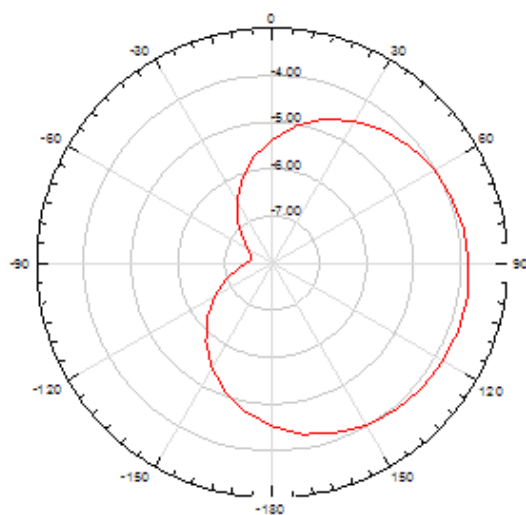
б) 0.9ГГц



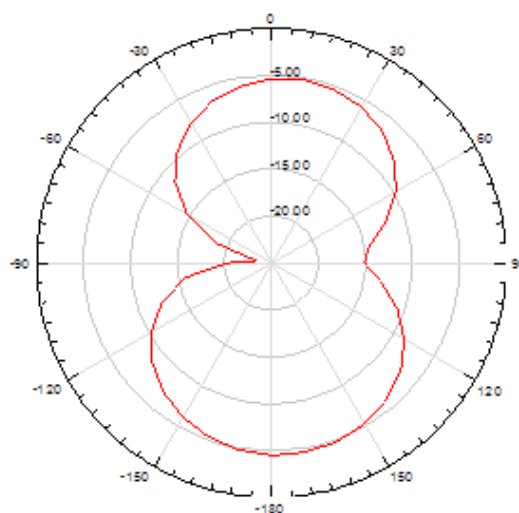
в) 1.2ГГц



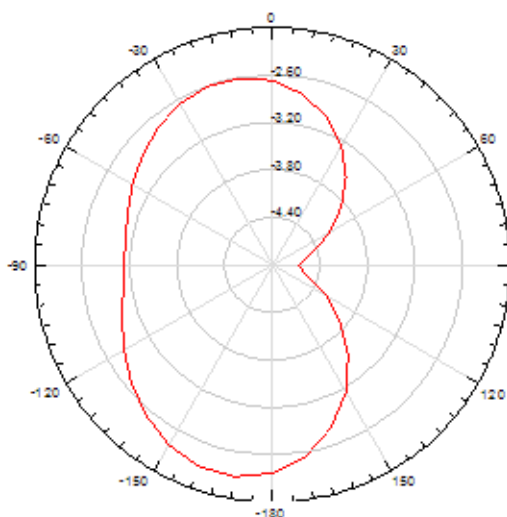
г) 1.2ГГц



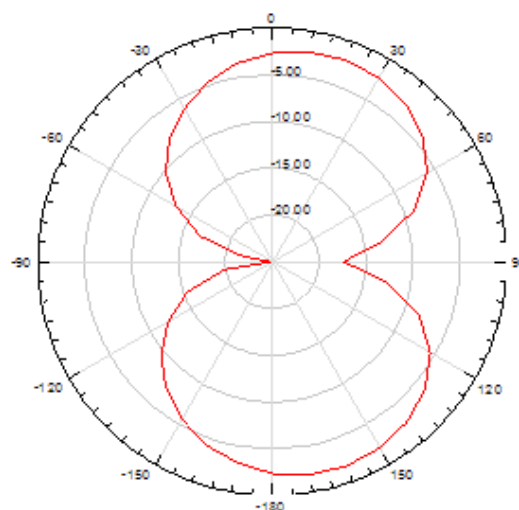
д) 1.8ГГц



е) 1.8ГГц



ж) 2.4ГГц



з) 2.4ГГц

Рисунок 2.17 – ДН в разрезе модифицированной салфетки Серпинского в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента DNG-среды на заданных частотах: б), г), е), з) – перпендикулярно плоскости подложки, а), в), д), ж) – в плоскости подложки.

Из рисунка 2.17 следует, что на частоте от 0.9ГГц до 1.2ГГц ДН имеет один большой и один малый лепесток, на частоте от 1.8ГГц до 2.4 ГГц ДН приобретает более выраженную двухлепестковую структуру с явно выраженным минимумом, но сохраняется тенденция к слабонаправленности. В плоскости подложки ширина лепестков с изменением частоты практически не меняется.

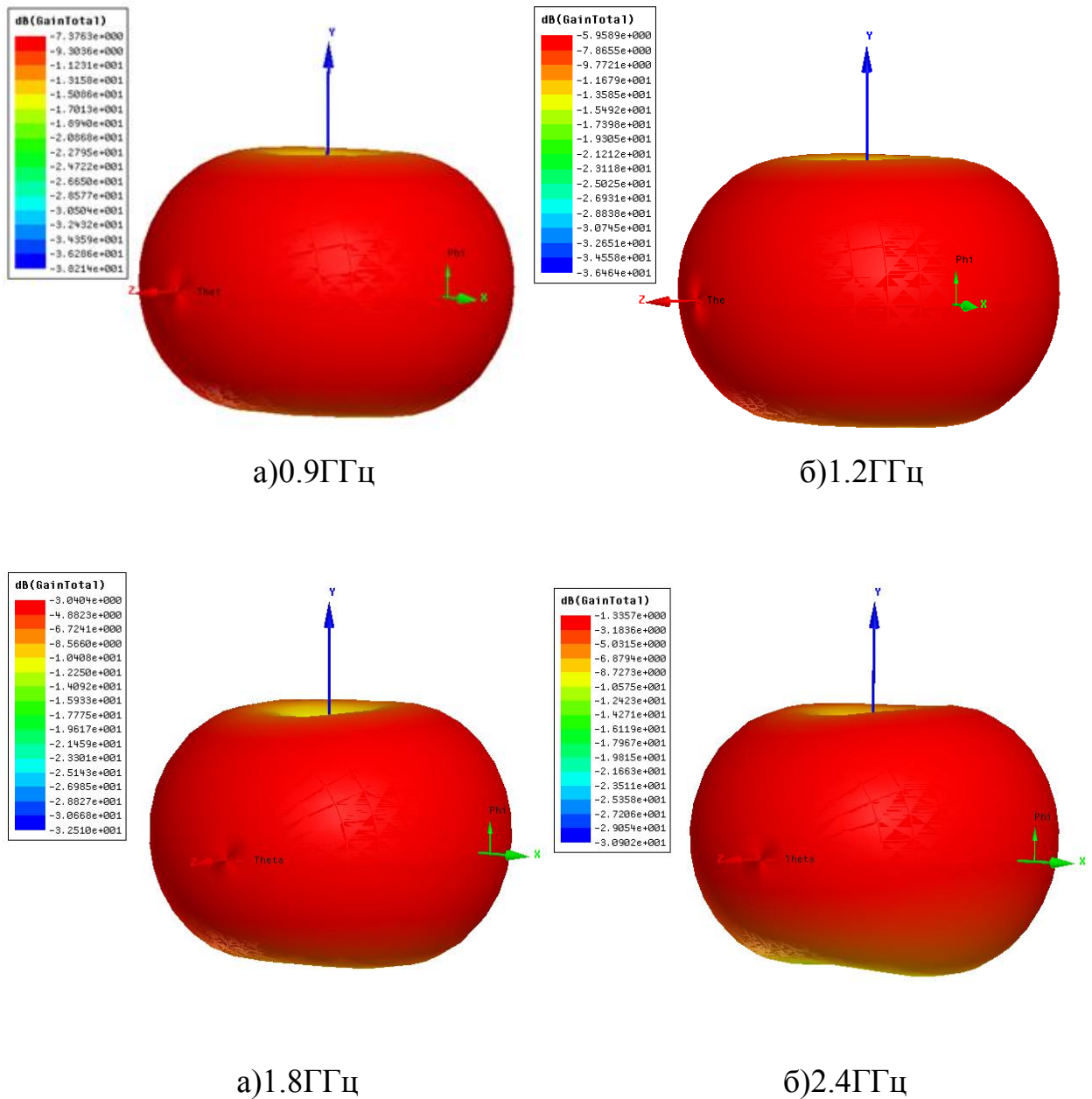
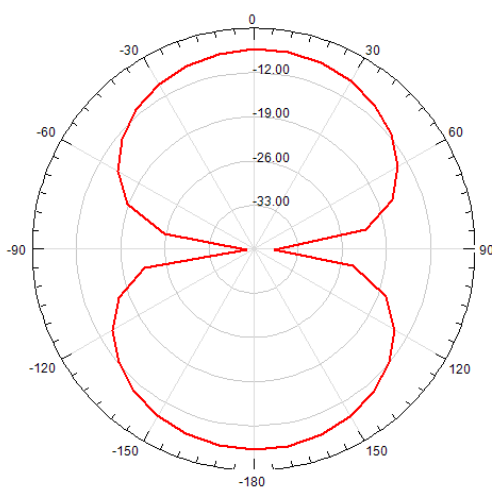
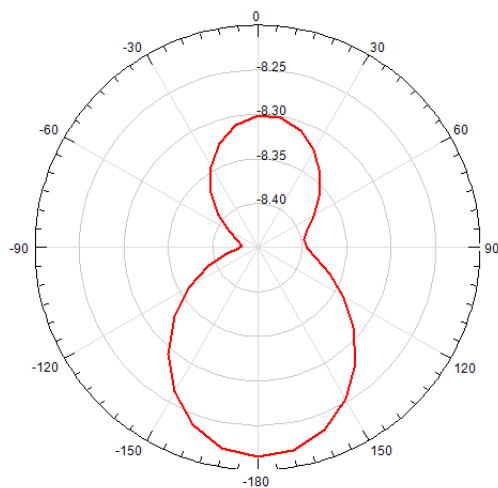


Рисунок 2.18 – 3D ДН салфетки Серпинского в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды.

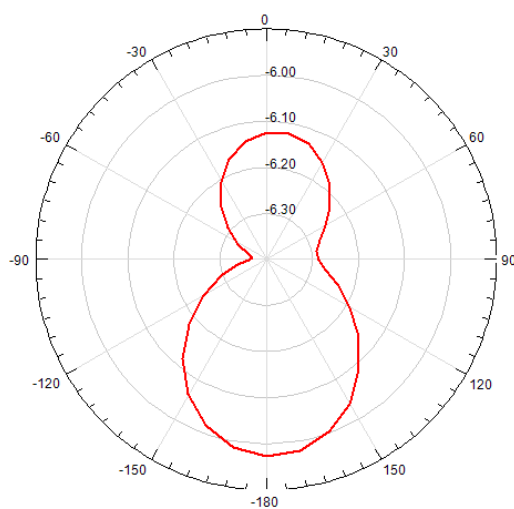
Изображенная на рисунке 2.18 ДН имеет тороидальную форму на частоте от 0.9 ГГц до 2.4 ГГц, также как, и в случае с классической салфеткой Серпинского в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды



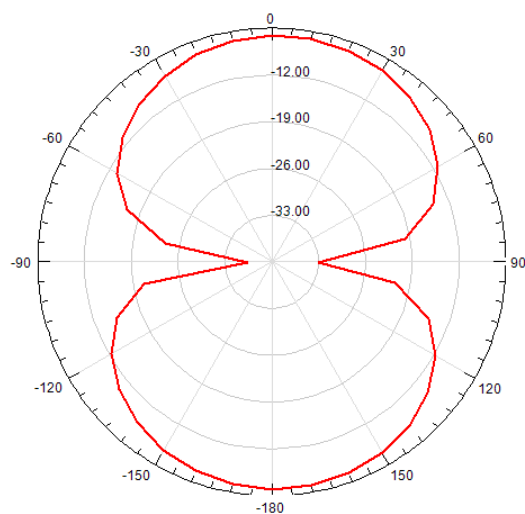
а) 0.9 ГГц



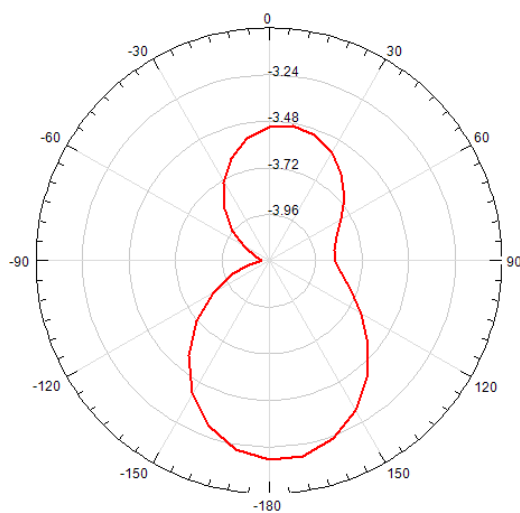
б) 0.9 ГГц



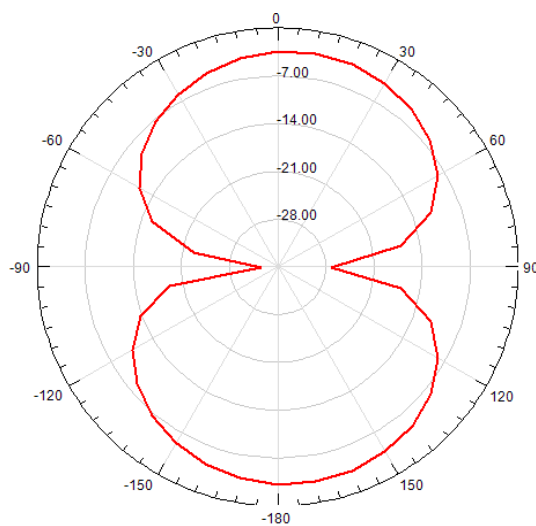
в) 1.2 ГГц



г) 1.2 ГГц



д) 1.8 ГГц



е) 1.8 ГГц

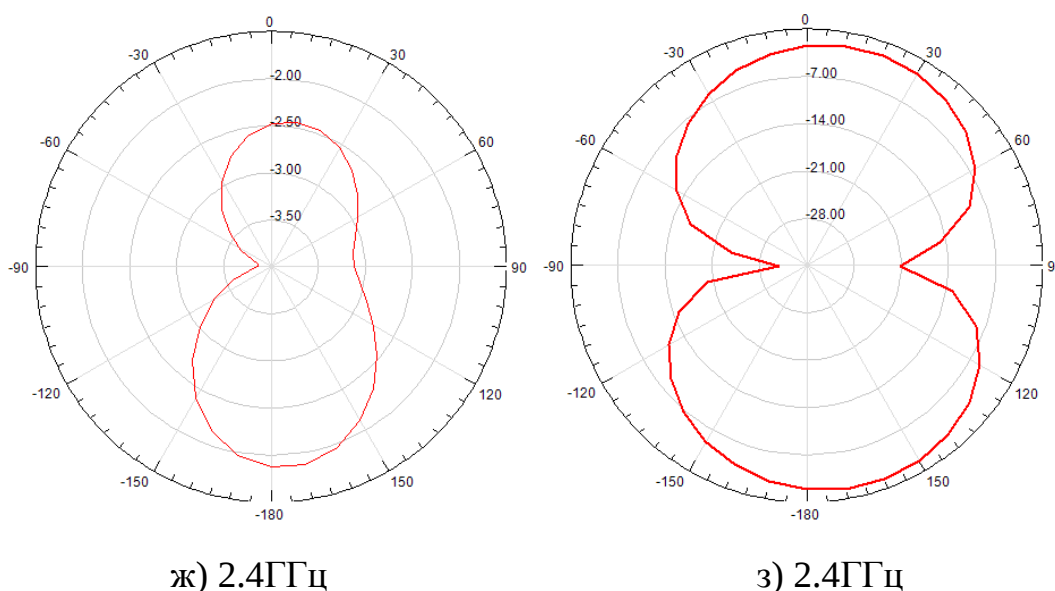


Рисунок 2.19 – ДН в разрезе салфетки Серпинского в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды на заданных частотах: а), в), д), ж) – в плоскости подложки; б), г), е), з) – перпендикулярно плоскости подложки.

ДН, изображённые на рисунке 2.19, показывают, что антенна имеет примерно одинаковую ширину лепестка в частотном диапазоне 0.9 ГГц – 2.4 ГГц, повторяющуюся форму ДН на заданных частотах и в целом характеризуются как слабо направленные. Диаграммы направленности на частотах от 0.9 ГГц до 2.4 ГГц в плоскости, параллельной подложке, имеют квазиизотропный вид, а в плоскости, перпендикулярной подложке, наблюдается два широких главных максимума (рисунок 2.19, б, г, е, з). В целом по ДН модификация с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды повторяют основные частотные свойства классической салфетки Серпинского. По результатам исследования можно утверждать, что данные антенны могут работать в диапазоне частот от 0.9 ГГц до 2.4 ГГц.

2.4 Выводы ко второму разделу

В данном разделе осуществлено электродинамическое моделирование классической салфетки Серпинского третьей итерации, салфетки Серпинского третьей итерации в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды и модифицированной салфетки Серпинского в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента DNG и ENG-среды в программной среде HFSS. Результаты можно кратко сформулировать следующим образом.

1. При увеличении номера рабочей зоны введение метаструктуры на поверхность подложки антенны приводит к уменьшению коэффициента отражения S_{11} , полоса пропускания сужается и резонанс становится более глубоким.

2. Сведением метаструктуры на поверхность подложки усиливается мультрезонансный характер частотной зависимости S_{11} , что позволяет применять одну антенну в нескольких частотных диапазонах, антенна становится более высокочастотной.

3. Степень согласования сильно зависит от частоты и от типа применяемых метаструктур. Наблюдается логарифмическая периодичность повторения рабочих зон, причём первая зона практически совпадает во всех случаях.

4. Антенна с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента DNG -среды обладает неплохой согласованностью, а антенна с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды хуже согласована с нагрузкой 50 Ом.

5. В широком частотном диапазоне (0,9...2,5 ГГц) антенна остаётся слабонаправленной с ДН, близкой по форме к тороидальной. С ростом частоты появляется изрезанность ДН из-за сложной интерференции полей, порождаемых синфазными и противофазными участками возбуждения поверхности самой антенны ближним полем.

6. И классическая салфетка Серпинского, и модифицированная антенна в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды имеют схожие диаграммы направленности, незначительно отличающиеся по усилению и очень устойчивые к изменению частоты.

3 АНАЛИЗ СНЕЖИНКИ КОХА

Фрактальные антенны, как отмечалось ранее, имеют ряд особенностей, обусловленных их геометрией. Скейлинговые свойства полезны при проектировании многодиапазонных фрактальных антенн, они позволяют уменьшить линейные размеры некоторых антенных систем. Характеристики фрактальных резонаторов неоднократно были предметом теоретических и экспериментальных исследований.

Ниже рассмотрим исследования, выполненные на фрактальных антеннах, созданных итерациями снежинки Коха.

3.1 Конструкция антенны

Последовательные этапы построения снежинки Коха изображены на рисунке 3.1. Из-за недостаточного разрешения итерации на рисунке 3.1 практически не различаются. Видно, что с каждой новой итерацией k -площадь снежинки Коха увеличивается.

Если через A_k обозначить площадь, образующуюся на k - м шаге, то итерации вычисляются как

$$A_{k+1} = A_k + \frac{\sqrt{3}}{12} \cdot \frac{4}{9}^{k-1} \cdot a^2, \quad (3.1)$$

где a – сторона первоначального треугольника площадью

$A_0 = \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot a^2$. Ряд 3.1 сходится к пределу

$$A = \frac{2}{5} \cdot \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot a^2, \quad (3.2)$$

Все итерации располагаются в окружности конечного радиуса

$$r = \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot a.$$

Периметр фигуры для k-й итерации имеет величину

$$l = 3 \cdot a \cdot \left(\frac{4}{3}\right)^k, \quad (3.3)$$

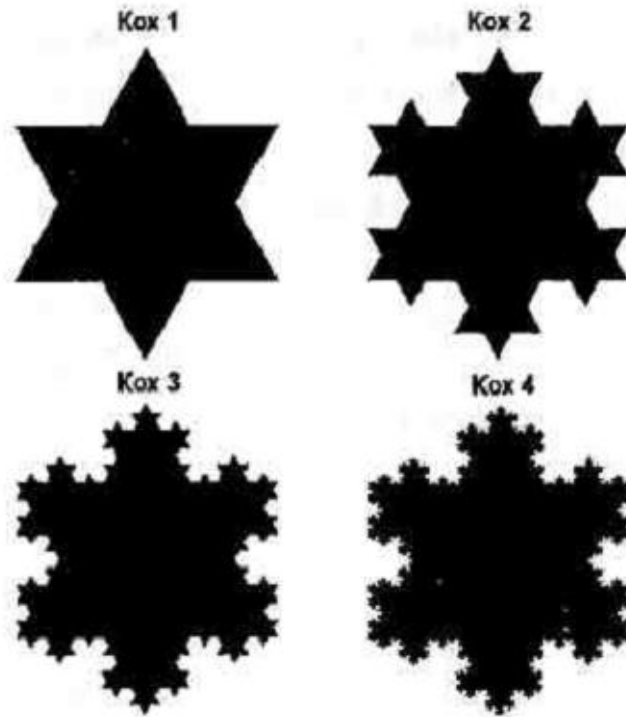


Рисунок 3.1 – снежинка Коха первой, второй , третьей и четвертой итерации.

Исходный элемент конструкции антенны представляет собой равносторонний треугольник.

Геометрия моделей в HFSS показана ниже, на рисунке 3.2 конфигурация фрактальной антенны второй итерации кривой Коха и с Ш-образной щелью:

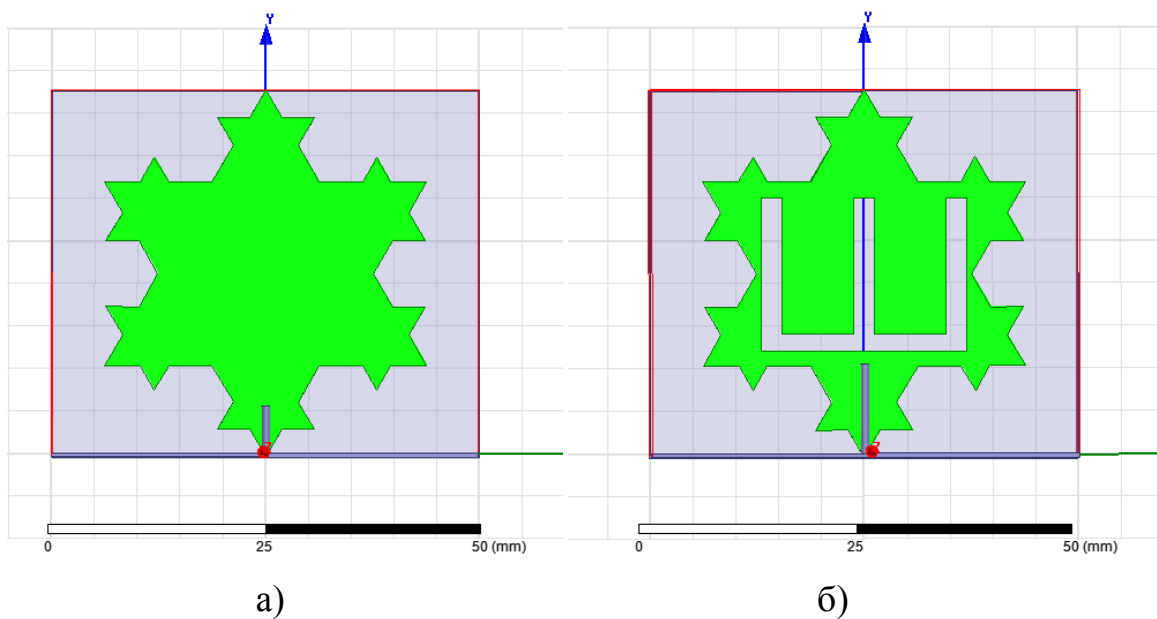


Рисунок 3.2 – а) классическая снежинки Коха вторая итерация, б) снежинки Коха вторая итерация с Ш - образной щелью .

Для снежинки Коха периметр бесконечной длины ограничивает конечную площадь. Генерация снежинки Коха производилась треугольником со стороной 48,5 мм. Использовались подложки с относительной диэлектрической постоянной $\epsilon=5.5$ и $\epsilon=11.5$, толщиной 3 мм. Антенна расположена на земляной плате представляющую собой металлическую поверхность размерами 50×31×1 мм. Антенна запитана с острого конца исходного элемента, питание выполнено в виде коаксиального провода. Высота питающего штыря 10 мм радиус 0.5 мм. Исследование проводилось в диапазоне частот от 0.1 ГГц и до 10 ГГц. Свойства антенны оценивались при помощи параметра коэффициента отражения (S_{11}), коэффициента стоячей волны (КСВ), диаграммы направленности (ДН), и характеристик входных сопротивлений на резонансных частотах.

3.2 Исследование в среде HFSS

На рисунках 3.3 для сравнения на одном графике приведены частотные зависимости S_{11} для снежинок Коха

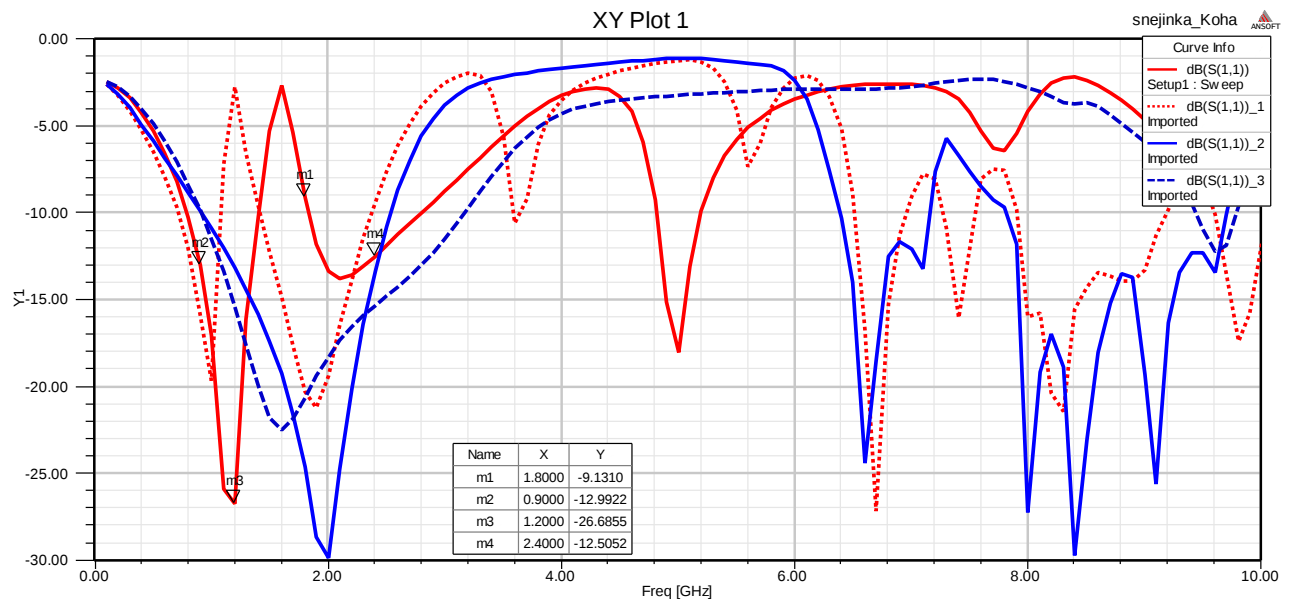


Рисунок 3.3 – Частотные зависимости S_{11} снежинки Коха в диапазоне частот 0.1 – 10 ГГц:

- dB(S(1,1)) Imported - классическая снежинки Коха вторая итерация с подложкой $\epsilon=5.5$,
- dB(S(1,1)) Imported - классическая снежинки Коха вторая итерация с подложкой $\epsilon=11.5$.
- dB(S(1,1)) Setup1 : Sweep - снежинка Коха вторая итерация с Ш - образной щелью с подложкой $\epsilon=5.5$,
- ... dB(S(1,1)) Imported - снежинка Коха вторая итерация с Ш - образной щелью с подложкой $\epsilon=11.5$.

Рассчитаем полосу пропускания на заданных резонансных частотах по уровню 3 дБ и занесём их в таблицу 3.1:

Таблица 3.1 – Полоса пропускания снежинки Коха на резонансных частотах

Резонансная частота, ГГц				Полоса пропускания по уровню 3 дБ %			
снежинка Коха $\epsilon=5.5$	снежинка Коха $\epsilon=11.5$	Ш – щель $\epsilon=5.5$	Ш – щель $\epsilon=11.5$	снежинка Коха $\epsilon=5.5$	снежинка Коха $\epsilon=11.5$	Ш – щель $\epsilon=5.5$	Ш – щель $\epsilon=11.5$
1.6	2	1.2	1	31.8	10	13.3	12
9.5	6.6	2.1	1.9	4.84	0.9	39.52	15.7
–	8	5	6.7	–	1	3.4	1.49
–	8.4	–	7.4	–	0.83	–	1.75
–	9.1	–	8.3	–	0.87	–	2.28
–	–	–	9.8	–	–	–	2.04

По ширине полосы пропускания можно сделать следующие выводы:

- с изменением диэлектрической постоянной подложки в обоих вариантах антенны коэффициент отражения S_{11} уменьшается ;
- с увеличением номера рабочей зоны полоса пропускания сужается во всех четырех случаях , что хорошо заметно в таблице 3.1;
- при использовании Ш – образной щели, наблюдается мульти-резонансный характер частотной зависимости S_{11} , что позволяет применять одну антенну в нескольких частотных диапазонах.

Рассмотрим КСВ на резонансных частотах (Рисунок 3.4).

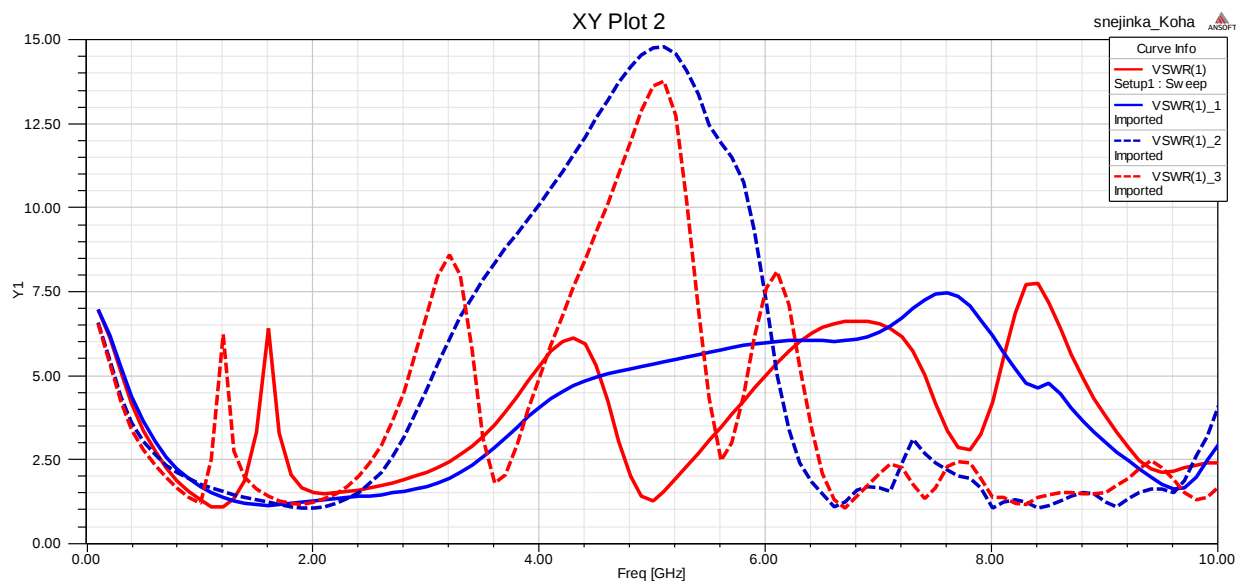


Рисунок 3.4 – КСВ в диапазоне частот от 0.1 ГГц и до 10 ГГц:

- dB(S(1,1)) Imported - классическая снежинки Коха вторая итерация с подложкой $\epsilon=5.5$;
- dB(S(1,1)) Imported - классическая снежинки Коха вторая итерация с подложкой $\epsilon=11.5$;
- dB(S(1,1)) Setup1 : Sweep - снежинка Коха вторая итерацияс Ш - образной щелью с подложкой $\epsilon=5.5$;
- dB(S(1,1)) Imported - снежинка Коха вторая итерацияс Ш - образной щелью с подложкой $\epsilon=11.5$.

Значения КСВ на резонансных частотах занесем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 - Значения КСВ на резонансных частотах

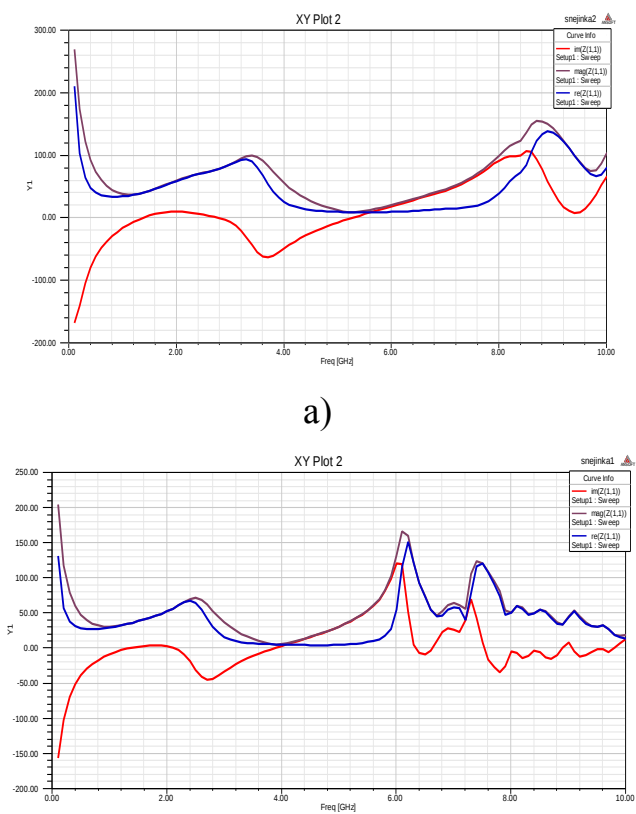
Резонансная частота, ГГц				КСВ			
снежин ка Коха $\epsilon=5.5$	снежин ка Коха $\epsilon=11.5$	Ш – щель $\epsilon=5.5$	Ш – щель $\epsilon=11.5$	снежинк а Коха $\epsilon=5.5$	снежин ка Коха $\epsilon=11.5$	Ш – щель $\epsilon=5.5$	Ш – щель $\epsilon=11.5$
1	2	3	4	5	6	7	8
1.6	2	1.2	1	1.14	1.12	1.05	1.54
9.5	6.6	2.1	1.9	1.79	1.16	1.48	1.15

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8
—	8	5	6.7	—	1.12	1.23	1.15
—	8.4	—	7.4	—	1.12	—	1.41
—	9.1	—	8.3	—	1.12	—	1.18
—	—	—	9.8	—	—	—	1.31

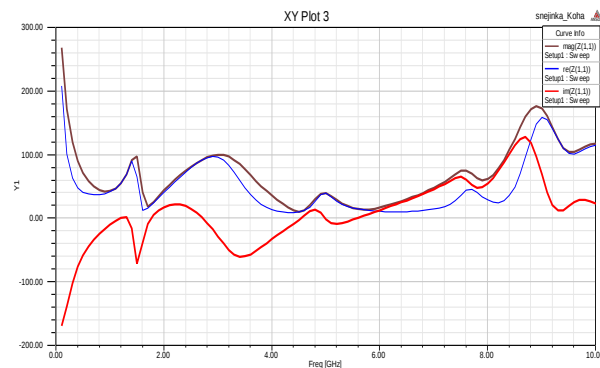
Значение КСВ (в пределах от 1 до 1.5) снежинки Коха второй итерации с III - образной щелью показывает высокую степень согласования на резонансных частотах. А при использовании подложки с относительной диэлектрической постоянной $\epsilon=11.5$, позволяет использовать эти антенны в разных частотных диапазонах, классическая снежинка Коха вторая итерация с подложкой $\epsilon=11.5$ тоже показывает высокую степень согласования на резонансных частотах, значение КСВ (в пределах от 1 до 1.2).

Рассмотрим рассчитанное значение входных сопротивлений на резонансных частотах (Рисунок 3.5).

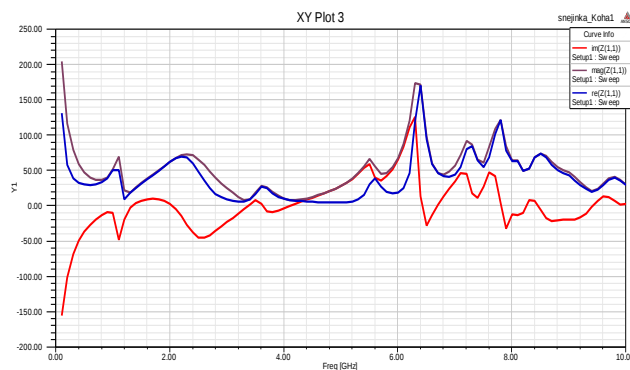


б)

— - реальная часть, — - мнимая часть, — - модуль



в)



г)

— - реальная часть, — - мнимая часть, — - модуль

Рисунок 3.5 – Значение входных сопротивлений снежинки Коха в диапазоне частот от 0.1 ГГц и до 10 ГГц

а) снежинка Коха вторая итерация с подложкой $\epsilon = 5.5$;

б) снежинка Коха вторая итерация с подложкой $\epsilon = 11.5$;

в) снежинка Коха вторая итерация с Ш - образной щелью с подложкой $\epsilon = 5.5$;

г) снежинка Коха вторая итерация с Ш - образной щелью с подложкой $\epsilon = 11.5$;

Занесем значения модуля входного сопротивления снежинки Коха на резонансных частотах в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Частотная зависимость модуля входного сопротивления антенн

Резонансная частота, ГГц				Значение модуля входного сопротивления, Ом			
снежинка Коха $\epsilon=5.5$	снежинка Коха $\epsilon=11.5$	Ш – щель $\epsilon=5.5$	Ш – щель $\epsilon=11.5$	снежинка Коха $\epsilon=5.5$	снежинка Коха $\epsilon=11.5$	Ш – щель $\epsilon=5.5$	Ш – щель $\epsilon=11.5$
1.6	2	1.2	1	46.1	52.1	54.7	51.3
9.5	6.6	2.1	1.9	88	55.1	52.8	55.6
–	8	5	6.7	–	50.8	39.0	46.2
–	8.4	–	7.4	–	49	–	64.2
–	9.1	–	8.3	–	53	–	52.3
–	–	–	9.8	–	–	–	39.8

Результаты расчёта входного сопротивления снежинки Коха (рисунок 3.5) показывают, что точки согласования совпадают с резонансными частотами зависимости S_{11} . На этих частотах модуль входного сопротивления близок к 50 Ом, кроме снежинки Коха второй итерации с подложкой $\epsilon=5.5$, которая обладает наихудшей из всех антенн согласованностью, так как имеет только два резонанса в полосе частот до 10 ГГц (таблица 3.3). Так же можно отметить, что с увеличением частоты происходит уменьшение входного сопротивления.

Для формирования ДН необходимо исследовать поверхностное распределение электрического поля антенны, которое и порождает ДН. Рассмотрим распределение амплитуды напряжённости электрического поля по поверхности антенн в зависимости от структуры и изменения диэлектрической постоянной подложки (Рисунок 3.6).

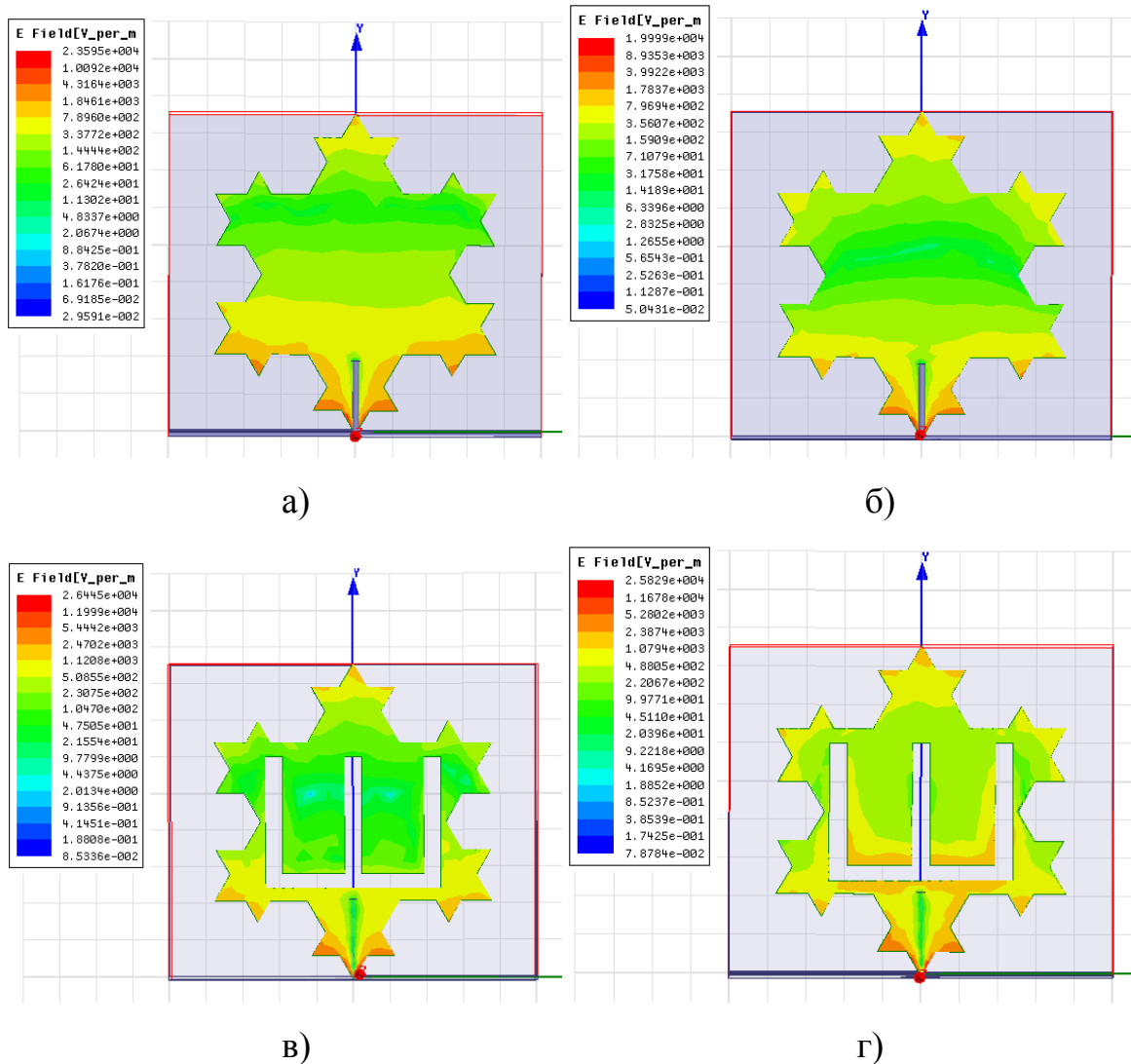


Рисунок 3.6 – Распределение амплитуды напряжённости электрического поля по поверхности антенн:

а) снежинка Коха вторая итерация с подложкой $\epsilon = 5.5$;

б) снежинка Коха вторая итерация с подложкой $\epsilon = 11.5$;

в) снежинка Коха вторая итерация с Ш - образной щелью с подложкой $\epsilon = 5.5$;

г) снежинка Коха вторая итерация с Ш - образной щелью с подложкой $\epsilon = 11.5$;

Из рисунка 3.6 видно, что у первых трёх антенн интенсивность возбуждения металлизаций ближним полем незначительно возрастает, а у снежинки Коха второй итерации с Ш - образной щелью на подложке $\epsilon = 11.5$ интенсивность возбуждения металлизаций ближним полем возрастает по краям и внутри щели, что положительно влияет на формирование ДН.

Рассмотрим распределение поля на снежинка Коха. В данном случае ДН формируется, в основном, центральной и нижней частями антенны

Рассмотрим формирование ДН на некоторых резонансных частотах, которые близки по заданным параметрам .

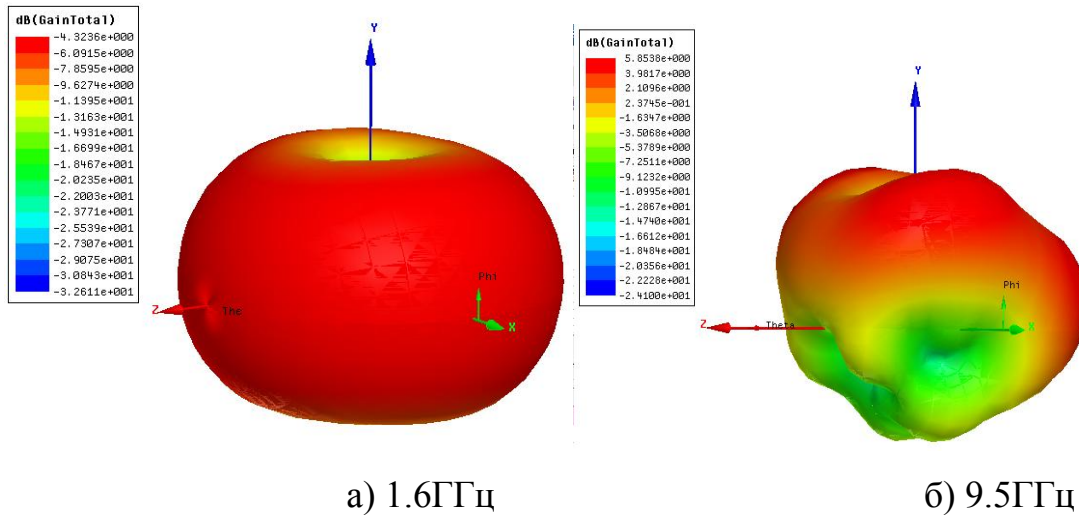
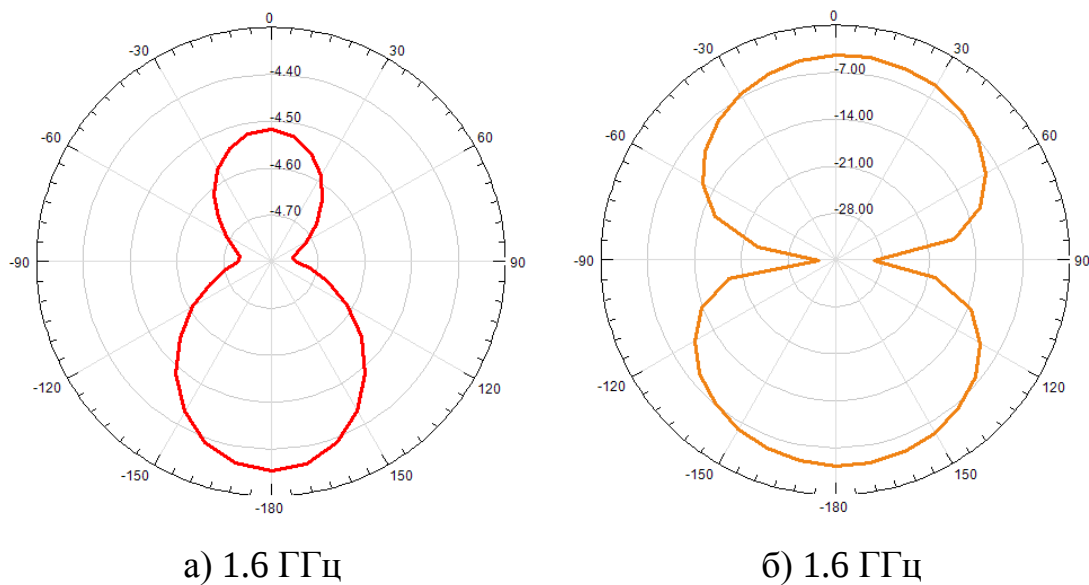
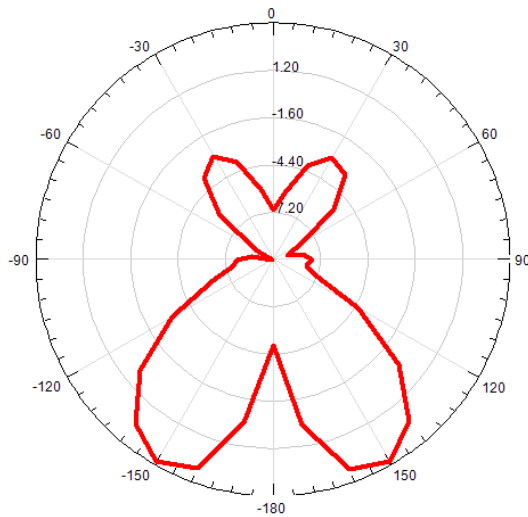
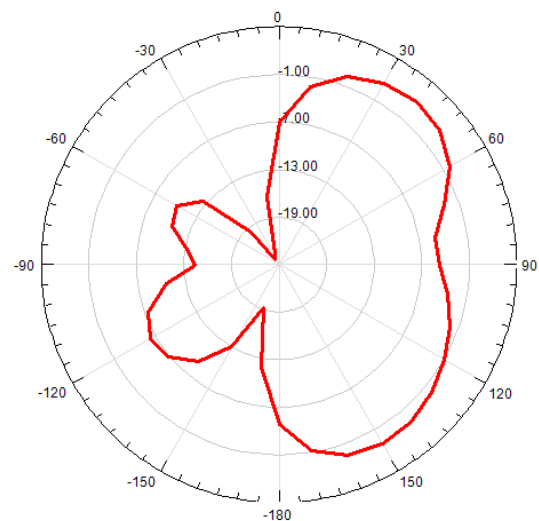


Рисунок 3.7 – Пространственная ДН снежинки Коха второй итерации с подложкой $\epsilon=5.5$ на резонансных частотах.





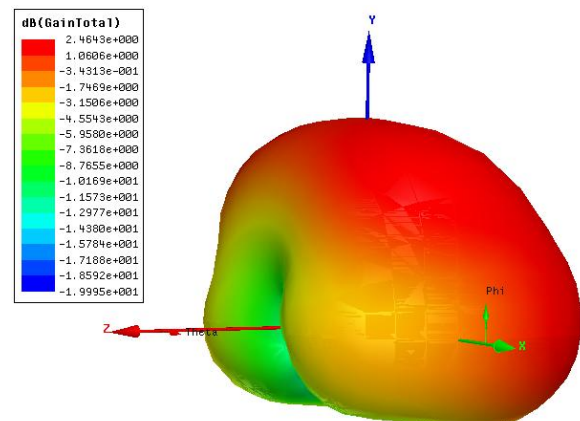
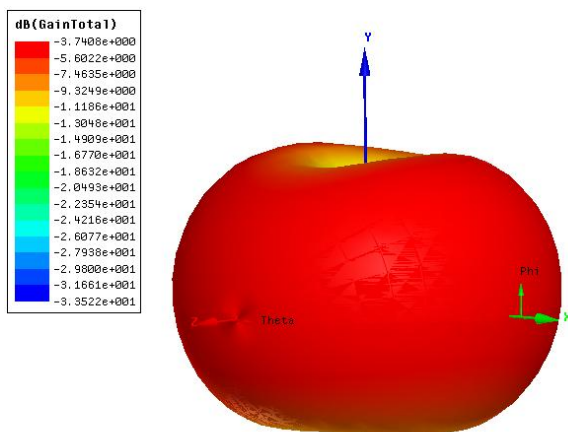
в) 9.5 ГГц



г) 9.5 ГГц

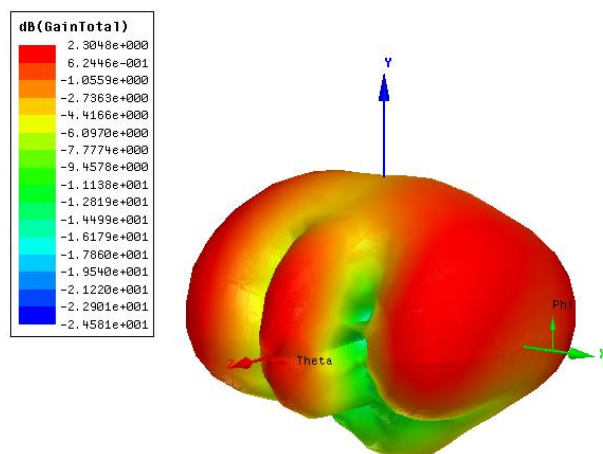
Рисунок 3.8 – ДН в основных сечениях снежинки Коха второй итерации с подложкой $\epsilon=5.5$ на резонансных частотах: а), в) – в плоскости подложки; б), г)– перпендикулярно плоскости подложки.

Изображенная на рисунке 3.7,а ДН на частоте 1.6ГГц имеет тороидальную форму. На частоте 9.5ГГц ДН приобретает многолепестковый характер с преимущественным излучением в верхнюю полуплоскость. Данная тенденция хорошо заметна при рассмотрении сечений ДН в главных плоскостях (рисунок 3.8). Степень изрезанности ДН антенны возрастает с увеличением номера рабочей зоны. В плоскости подложки антенна на 9.5 ГГц имеет четырехлепестковую ДН (рисунок 3.8:в), а в плоскости, перпендикулярной подложке, появляется множество максимумов и минимумов (рисунок 3.8: г).



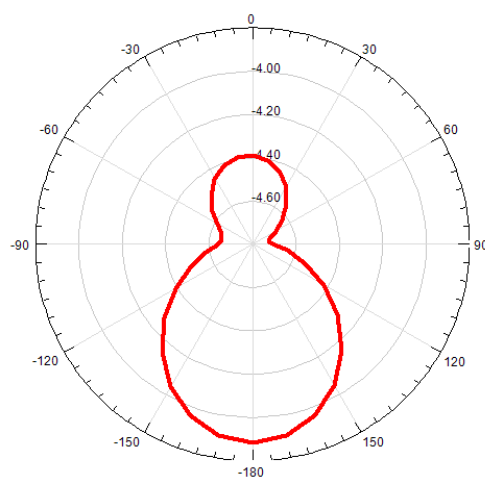
а) 2 ГГц

б) 6.6 ГГц

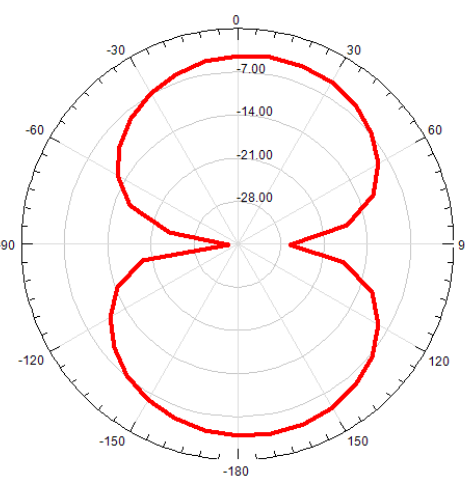


в) 8 ГГц

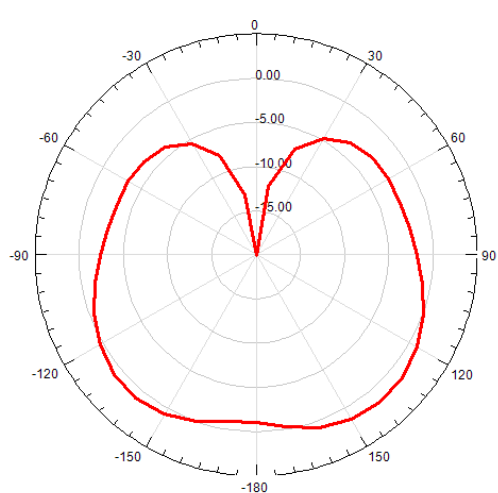
Рисунок 3.9 – Пространственная ДН снежинки Коха второй итерация с подложкой $\epsilon=11.5$ на резонансных частотах



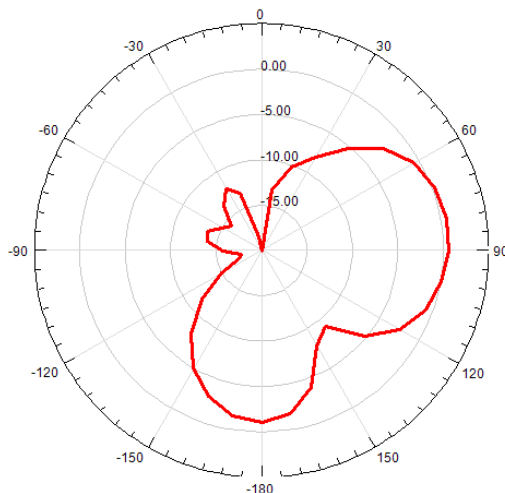
а) 2 ГГц



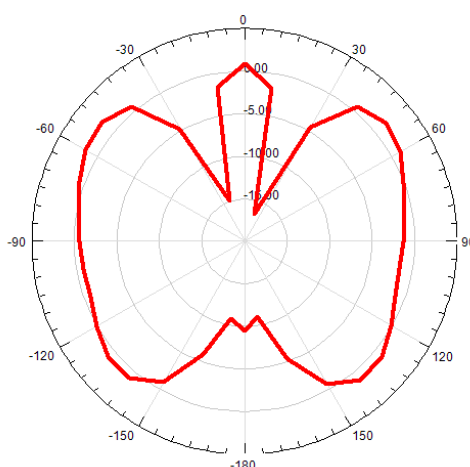
б) 2 ГГц



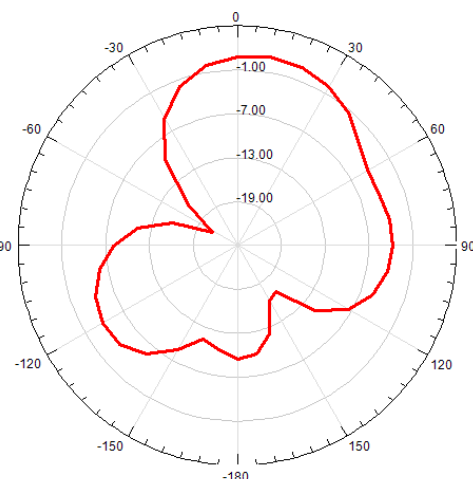
в) 6.6 ГГц



г) 6.6 ГГц



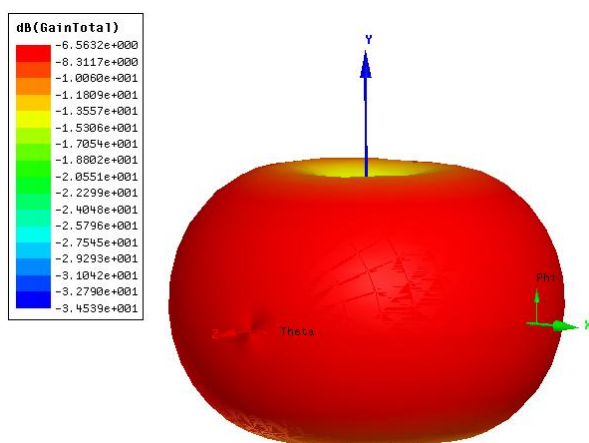
д) 8 ГГц



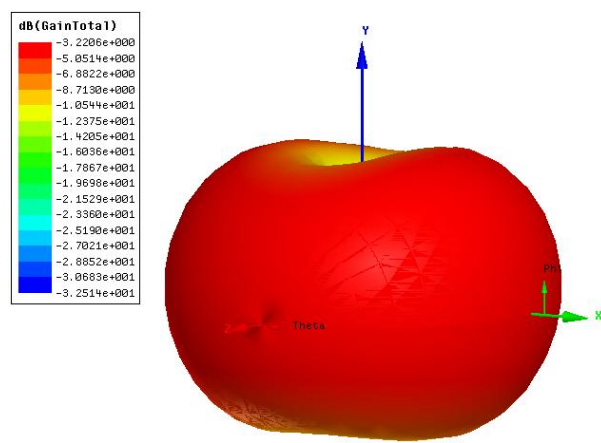
е) 8 ГГц

Рисунок 3.10 – ДН в главных плоскостях снежинки Коха второй итерация с подложкой $\epsilon=11.5$ на резонансных частотах: а), в), д) – в плоскости подложки, б), г), е) – перпендикулярно плоскости подложки

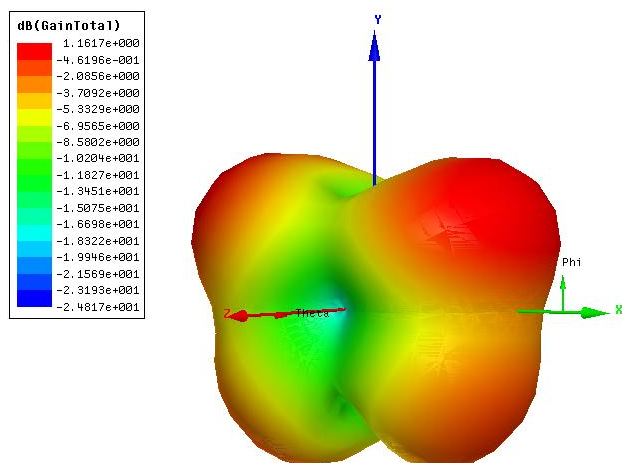
При сравнении пространственных ДН снежинок Коха с разной относительной диэлектрической постоянной подложки (рисунок 3.7, 3.9), то можно заметить, что на первой резонансной частоте обе антенны имеют близкие к изотропным ДН. У антенны с относительной диэлектрической постоянной подложки $\epsilon=11.5$ появляется дополнительный резонанс на частоте 6.6 ГГц. ДН на этой частоте имеет слабовыраженные лепестки и является слабонаправленной. На частоте 8 ГГц в плоскости подложки (рисунок 3.10,д) ДН 3 сильно вытянутых лепестка, что говорит о наличии соответствующего количества главных направлений излучения.



а) 1.2 ГГц

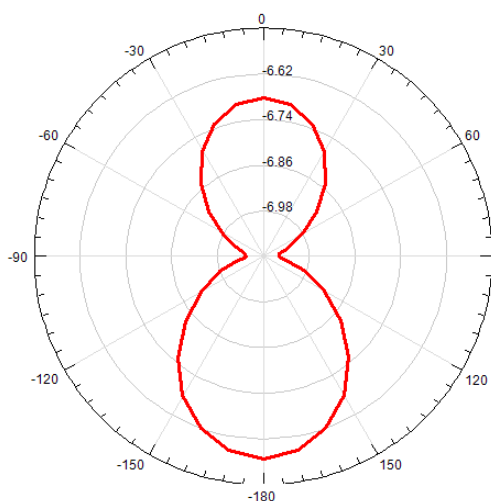


б) 2.1 ГГц

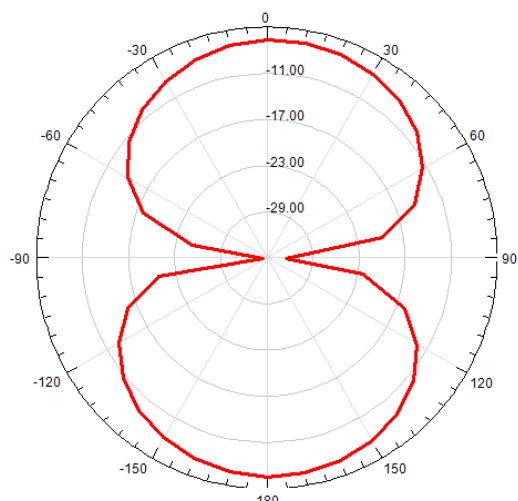


д) 5 ГГц

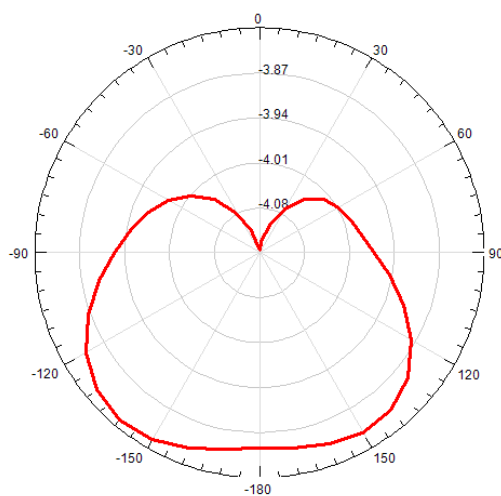
Рисунок 3.11 – Пространственная ДН снежинки Коха второй итерации с Ш - образной щелью на подложке $\epsilon=5.5$ на резонансных частотах.



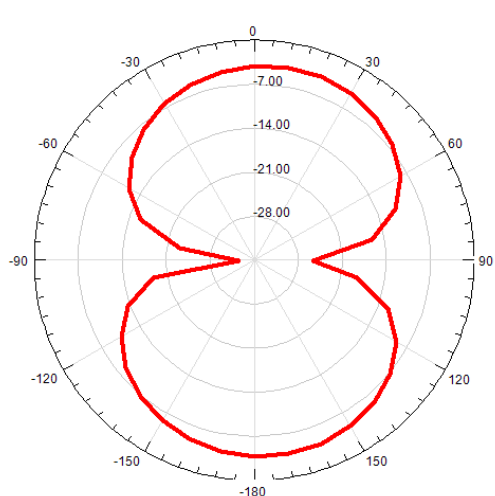
а) 1.2 ГГц



б) 1.2 ГГц



в) 2.1 ГГц



г) 2.1 ГГц

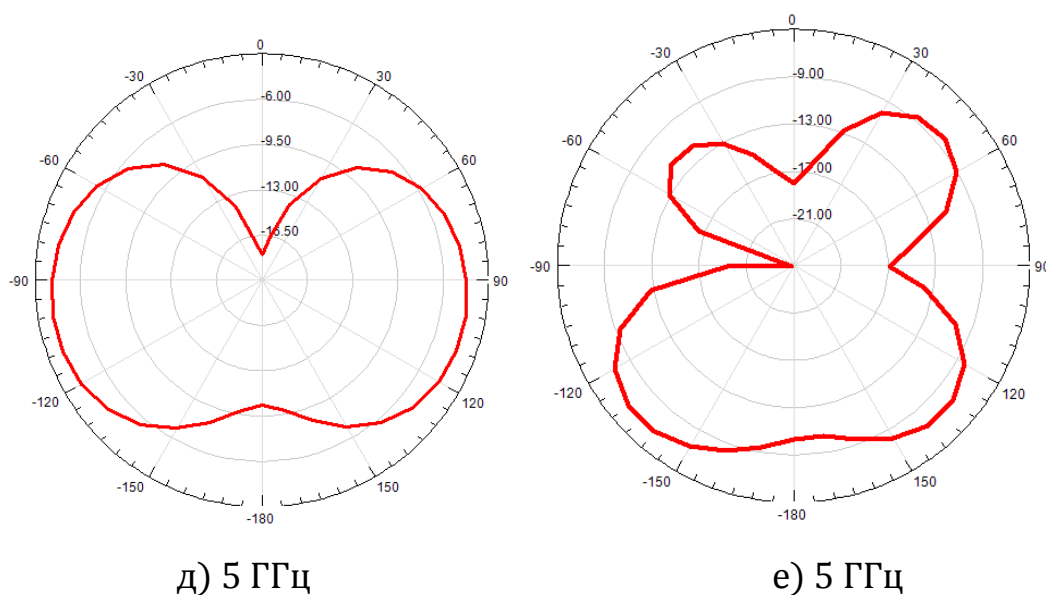


Рисунок 3.12 – ДН в главных плоскостях снежинки Коха второй итерации с Ш - образной щелью на подложке $\epsilon=5.5$ на резонансных частотах:
 а), в), д) – в плоскости подложки, б), г), е) – перпендикулярно плоскости подложки.

ДН снежинки Коха второй итерации с Ш - образной щелью на подложке $\epsilon=5.5$ на первых частотных резонансах (1.2 ГГц и 2.1 ГГц) является слабонаправленной (рисунок 3.11, а, б). На частоте 5 ГГц ДН приобретает сильно изрезанную форму, но в среднем в верхней полуплоскости по-прежнему сохраняется слабая направленность антенны. Из анализа сечений ДН в главных плоскостях (рисунок 3.12, а, в) на частотах 1.2 ГГц и 2.1 ГГц в плоскости подложки следует, что главные лепестки меняют свою форму и приобретают однобокую форму, но при этом имеют одинаковую ширину лепестков ДН в плоскости, перпендикулярной к подложке (рисунок 3.12, б, г). На частоте 5 ГГц (рисунок 3.12, д) ДН антенны в плоскости подложки имеет 2 сильно втянутых минимума и 2 выраженных максимума, которые определяют главные направления. В ортогональной плоскости сечения, наоборот, у ДН антенны имеются 3 достаточно широких лепестка (рисунок 3.12, е).

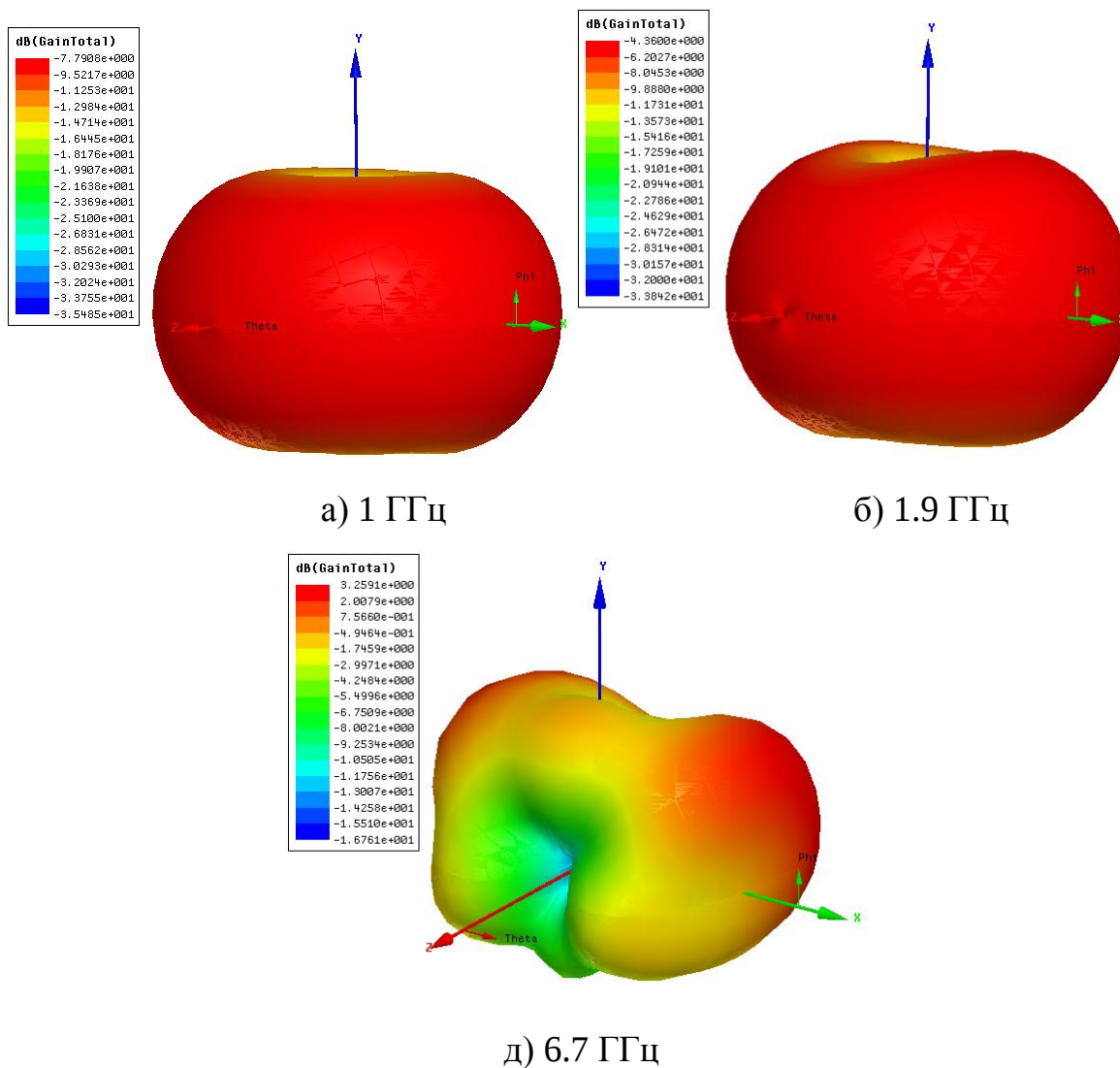
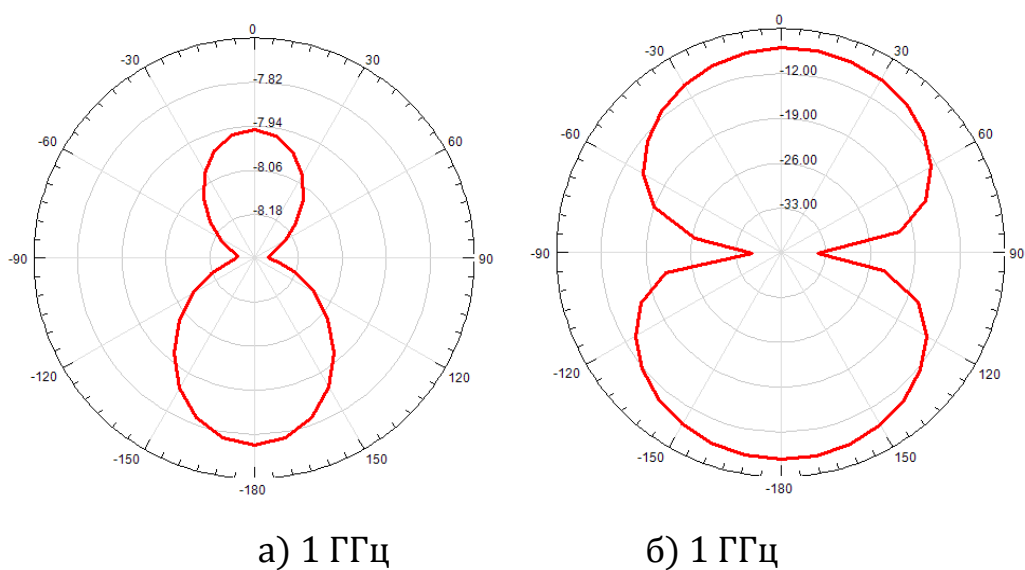
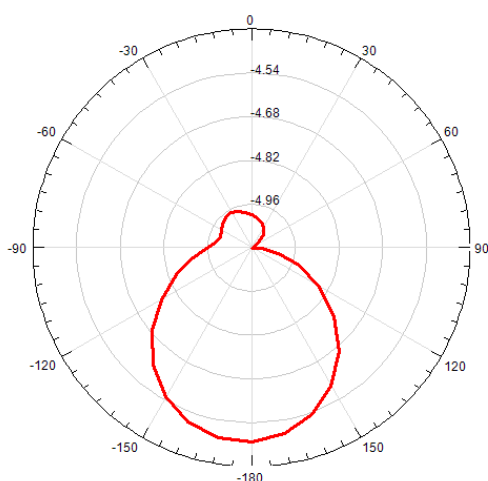
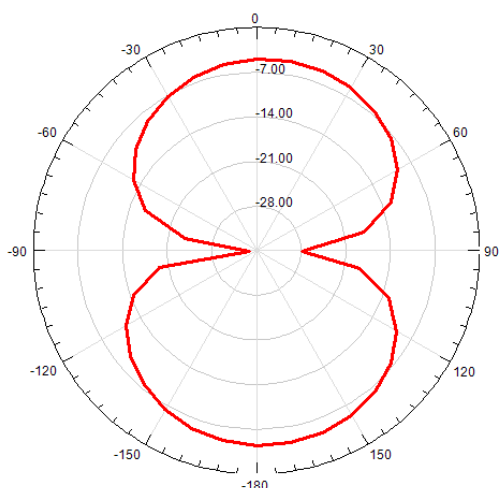


Рисунок 3.13 – Пространственная ДН снежинки Коха второй итерации с Ш - образной щелью на подложке $\epsilon=11.5$ на резонансных частотах.

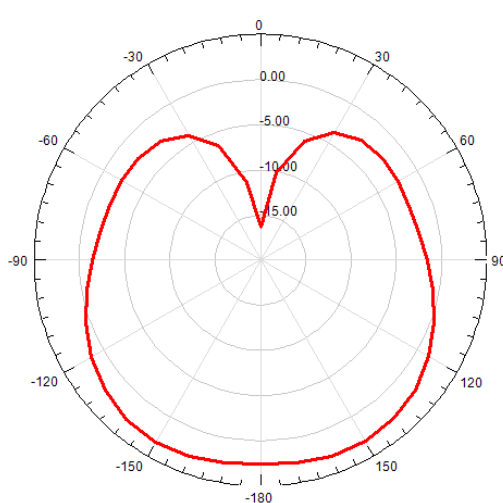




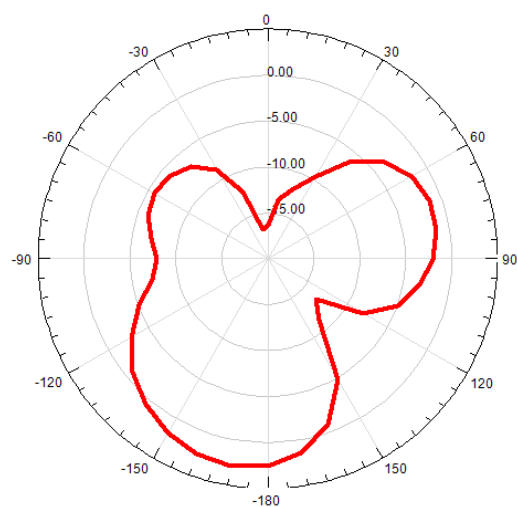
в) 1.9 ГГц



г) 1.9 ГГц



д) 6.7 ГГц



е) 6.7 ГГц

Рисунок 3.14 – ДН в главных плоскостях снежинки Коха второй итерации с Ш - образной щелью на подложке $\epsilon=11.5$ на резонансных частотах: а), в), д) – в плоскости подложки, б), г), е) – перпендикулярно плоскости подложки

ДН (рисунок 3.13) на частоте 1 ГГц имеет изотропный вид. На частоте от 1.9 ГГц до 6.7 ГГц ДН трансформируется до появления чётко выраженных минимумов и максимумов, но при этом ширина лепестков ДН достаточно велика и обеспечивает близкое к равномерному распределения поля в пространстве. ДН в главных сечениях (рисунок 3.14, а, б) на частоте 1 ГГц в плоскости, параллельной подложке, имеют два широких главных максимума, в плоскости, перпендикулярной подложке, - ДН изотропна. На частоте 1.9 ГГц (рисунок 3.14, в, г) ДН в плоскости, перпендикулярной подложке, имеет слабо

выраженные два лепестка, а в плоскости, параллельной плоскости подложки - два широких лепестка. На частоте 6.7 ГГц (рисунок 3.14, д, е) в плоскости, перпендикулярной подложке, ДН имеет сильно выраженные три лепестка, минимумы двух достигают почти нулевых значений, а в плоскости, параллельной подложке - два широких лепестка.

3.3 Выводы к третьему разделу

В данном разделе осуществлено электродинамическое моделирование классической снежинки Коха второй итерации и снежинки Коха второй итерации с Ш - образной щелью, с использованием подложки с относительной диэлектрической постоянной $\epsilon=5.5$ и $\epsilon=11.5$ в среде HFSS. Результаты можно кратко сформулировать следующим образом.

1. По ширине полосы с изменением диэлектрической постоянной подложки в обоих вариантах антенны коэффициент отражения S_{11} уменьшается;
2. При использовании Ш - образной щели, наблюдается мультирезонансный характер частотной зависимости S_{11} , что позволяет применять одну антенну в нескольких частотных диапазонах, антенна становится более высокочастотной.
3. Степень согласования сильно зависит от частоты и от значения относительной диэлектрической постоянной подложки. Наблюдается логарифмическая периодичность повторения рабочих зон, причём первая зона практически совпадает во всех случаях.
4. Снежинка Коха второй итерации с Ш - образной щелью показывает высокую степень согласования на резонансных частотах. А при использовании подложки с относительной диэлектрической постоянной $\epsilon=11.5$, позволяет использовать эту антенны в разных частотных диапазонах.
5. В широком частотном диапазоне (0,9...2,5 ГГц) антенна остаётся слабонаправленной с ДН, близкой по форме к тороидальной. С ростом частоты появляется изрезанность ДН из-за сложной интерференции полей,

порождаемых синфазными и противофазными участками возбуждения поверхности самой антенны ближним полем.

6. И снежинка Коха второй итерации с Ш - образной щелью и классическая снежинка Коха второй итерации в первой рабочей зоне имеют практически одинаковую диаграмму направленности не зависящую от значения относительной диэлектрической постоянной подложки.

7. Значения модуля входного сопротивления в диапазоне от 0.9ГГц до 2.4ГГц всех антенн близка к 50Ом.

4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

4.1 Планирование научно-исследовательских работ

Основное условие рационального планирования научно-исследовательской работы (НИР) – сокращение сроков выполнения разработок при минимальных затратах трудовых, материальных и денежных ресурсов.

Для этого необходимо решить следующие вопросы по планированию НИР: определение трудоемкости и длительности; составление календарного графика выполнения; определения затрат на проведение.

Весь комплекс научно-исследовательских работ можно подразделить на типичные этапы - таблица 4 .1. При каждом этапе указываются исполнители и продолжительность выполнения работ.

Таблица 4.1 – Этапы работы

Номер этапа	Наименование этапа	Продолжительность дней	Содержание работы
1	2	3	4
1	Подготовительный	3	Уточнение проектного задания. Подбор и анализ литературы и аналогов
2	Выполнение теоретических разработок по теме	14	Составление методики исследований. Разработка теоретических вопросов

Продолжение таблицы 4.1

Номер этапа	Наименование этапа	Продолжительность дней	Содержание работы
3	Проведение расчетов на ПК	25	Выполнение расчетов. Внесение исправлений в расчетах
4	обобщение результатов	10	Обобщение полученных результатов
5	заключительный	4	Составление отчета, обсуждения его утверждения, оформления графического материала. Технико-экономические расчеты эффективности результатов исследований

Трудоемкость НИР рассчитывается в человеко-днях затрат рабочего времени основных исполнителей и зависит от сложности разработки и степени ее новизны, квалификации исполнителей, наличия у них навыков исследовательской работы, от используемых материалов, требований надежности, технических условий комплектующих схем и так далее.

Рассчитаем продолжительность этапов:

$$T_{\text{ц}} = \frac{Q}{R} \quad (4.1)$$

где $T_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла, дни

Q – трудоемкость работ, чел.-дни

R – количество исполнителей, чел

В результате получаем, что продолжительность всего процесса НИР занимает 56 дней. Результаты расчетов сводят в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Длительность этапов НИР

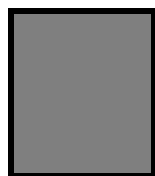
Этапы НИР	Трудоемкость		Исполнители		Продолжительность дней
	Люди- дни	% к выводу	Специальность	Количество люд.	
1	6	9.80	Специалист консультант	2	3
2	14	22.95	Специалист	1	14
3	25	40.98	Специалист	1	25
4	12	19.67	Специалист	1	10
5	4	6.60	Специалист консультант	2	4
Всего	61	100	-	2	56

В ряде случаев очень трудно установить общую трудоемкость проведенной НИР. Это связано с элементами неопределенности в процессе выполнения большинства работ. В таких случаях используют две или три

вероятные оценки времени, даются ответственным исполнителям по каждому этапу работ.

Используя таблицу 4.2 можно построить календарный график выполнения НИР.

Наименование этапа	К а л е н д а р н ы й п е р и о д , д н и												
	10.09.- 14.09.	17.09.- 21.09.	24.09.- 28.09.	01.10.- 05.10.	08.10.- 12.10.	15.10.- 19.10.	22.10.-27.10	29.10.- 03.11.	05.11.- 09.11.	12.11-16.11	19.11-23.11	26.11-30.11	
1. Подготовительный	■												
2. Виконання теоретичних розробок по темі		■	■	■									
3. Проведення розрахункових досліджень на EOM					■	■	■	■	■				
4. Узагальнення отриманих результатів										■	■		
5. Заключительный												■	■



- К о н с у л ь т а н т



Рисунок 4.1 - График выполнения НИР

4.2 Расчет затрат на проведение НИР

Для определения денежных расходов на проведение научно-исследовательской работы составляют смету расходов по статьям:

- материалы за исключением возвратных отходов;
- амортизация оборудования;
- заработная плата основная и дополнительная;
- отчисления на социальное страхование;
- накладные расходы.

В стоимость материалов включаются затраты на материалы для проведения исследования (например бумага), а также для изготовления опытных образцов.

Рассчитаем стоимость основных материалов M_O по формуле:

$$M_O = (1 + K_{ТЗ}) \sum_{i=1}^n (C_i \cdot N_i - C_{i0} \cdot N_{i0}) \quad (4.4)$$

где $K_{ТЗ}$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы ($K_{ТЗ} = 0,1$)

C_i – цена i -го наименования материала, руб.;

N_i – необходимая потребность в материале i -го наименования;

C_{i0} – цена возвратных отходов i -го наименования материала, руб

N_{i0} – количество возвратных отходов i -го наименования материала;

n – количество наименований материалов.

Исходные данные и расчеты стоимости материалов занесем в таблицу

4.4. Для расчета затрат на электроэнергию E используем формулу:

$$E = P_y \cdot \Phi_{ef} \cdot K_v \cdot C_e \cdot KКД, \quad (4.5)$$

где P_y – установленная мощность энергетических токоприемников оборудования, кВт;

Φ_{ef} – эффективный фонд времени работы данного вида оборудования, ч;

K_e – коэффициент использования энергетических установок по мощности и времени ($K_e = 0,8$);

C_e – цена 1 кВт · часа электроэнергии ($C_e = 2,11$ грн.);

$KKД = 0,8$.

Таблица 4.4 – Затраты на материалы

Материал	Одиница измерения	Количество	Цена за единицу, грн	Сумма затрат, грн
Бумага формата А4	шт.	1	130	130
Бумага формата А1	шт.	5	6.0	6.0
Картридж на принтер	шт.	1	100.0	100.0
Ручка	шт.	2	7.5	7.5
Карандаш	шт.	2	3.0	3.0
Ластик	шт.	1	1.5	1.5
Всего				282.5
Транспортно–заготовительные расходы				28.25
Всего				310.75

Расчеты использования электроэнергии приведены в таблице 4.5

Таблица 4.5 - Расчет стоимости энергоресурсов

Наименование	Вид энергоресурсов	Установленная мощность, кВт	Продолжительность, час	Тариф за кВт час, грн	Стоимость энергоресурсов, грн
Компьютер	Енергия	0.2	200	2.11	54.02
Принтер	Енергия	1.5	3		6.08
Всего					60.10

К специальному оборудованию относится такое оборудование, которое используется только для проведения отдельной исследовательской работы. Стоимость специального оборудования для проведения НИР определяется на основании их количества, цен по прейскурантам. Результаты расчета занесены в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 - Расчет стоимости спецоборудования

Оборудование	Марка	Количество	Цена за единицу, грн	Стоимость, грн
Ноутбук	Asus F5	1	10050	10050
Принтер	Canon MP250	1	3150	3150
Всего				13200

Рассчитаем сумму амортизационных отчислений. Балансовая стоимость компьютера и принтера состоит из стоимости компьютера и принтера, и оплаты транспортировки этого оборудования в офис.

Так как основная работа проводится на компьютере, рассчитаем для него амортизационные отчисления. Цена оборудования – 10050 грн. Норма

амортизационных отчислений составляет $H_a = 25\%$. Эффективный фонд работы компьютера 1800 часов. Из них по теме 200 часов.

Аналогично для принтера, работавший по теме 3:00 и цена которого 3150 грн.

Результаты расчета занесены у таблицу 4.7.

Таблица 4.7 - Расчет суммы амортизационных отчислений

Наименован ие	Балансовая стоимость, руб.	Норма амортизац ии, %	Занятость оборудовани я, ч	Годовой эффективный фонд времени, ч	Сумм а, грн
Компьютер	10050	25	200	1800	279.17
Принтер	3150	25	3		1.31
Всего					280.48

Рассчитаем заработную плату всех категорий работников, непосредственно занятые в процессе проведения всех этапов НИР. Сумма заработной платы рассчитывается на основе занятости исполнителей по отдельным этапам работ и среднедневного заработка для каждой категории персонала. Результаты расчета занесены в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Заработная плата

Должность	Месячный оклад, грн	Количество исполнителей	Занятость ГДР, мес	Зарплата, грн
Специалист	8000	1	2.5	20000.00
Консультант	10000	1	0.25	2500.00
Всего	—	2	-	22500.00

Сумма по основной заработной плате составляет 22500,00 грн. Дополнительная плата принимается 10% от основной заработной платы,

составляет 2250,00 грн. Итоговая сумма заработной платы составляет 24750,00 грн ..

Отчисления на ЕСВ - 22% (5445,00 грн.).

Составим смету всех расходов, результаты расчета занесем в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 - Смета расходов на выполнение НИР

Вид расходов	Сумма расходов, грн	Процент расходов, %
Основные материалы	310,75	0,48
Амортизационные отчисления	280,48	0,43
Енергоносії	60,10	0,09
Основная заработная плата	22500,00	34,83
Дополнительная заработная плата	2250,00	3,48
Отчисления на ЕСВ	5445,00	8,43
Накладные расходы (150% от основной заработной платы)	33750,00	52,23
Всего	64596,33	100
НДС (20%)	12919,27	20
Всего	77515,60	120

В результате получили, что сумма всех расходов, необходимых для проведения

НИР, составляет 77515,60 грн.

4.3 Расчет экономической эффективности НИР

Эффективность прикладных НИР определяется, как сопоставление годового экономического эффекта от применения результатов расчетных исследований в условиях производства и использованных капиталовложений для осуществления исследований и внедрения их в производство.

$$E_{\text{фак}} = \frac{\text{Економ.ефект}}{\text{Капіталовкладення}} \quad (4.6)$$

Сопоставляя фактическую экономическую эффективность с нормативной, ($E_n=0,15$), делается вывод о целесообразности исследований. Если $E_{\text{фак}} >$ або $= E_n$ то исследования признаются экономически эффективными. В обратном случае исследования не следует выполнять, потому что экономическая выгода от таких исследований мал. Экономическую эффективность исследований можно оценить по сроку окупаемости затрат на их проведение и воплощение.

$$T_{\text{ок}}^{\text{фак}} = \frac{\text{Капіталовкладення}}{\text{Економ.ефект}} \quad (4.7)$$

Фактический срок окупаемости капиталовложений сопоставляется с нормативным сроком окупаемости капиталовложений, принятый для промышленности (примерно 6 (6) лет), и на основе сравнения делается вывод о целесообразности исследований.

Для теоретических исследований в большинстве случаев трудно или даже невозможно рассчитать экономический эффект, поэтому целесообразно определить их технико-экономической эффективности с учетом следующих показателей:

- важность исследования;
- сложности разработки;
- результативности и возможности использования.

- важность теоретического исследования оценивают по его назначению:
- решение проблемных вопросов;
- удовлетворение требований специальной техники; поиск принципиально новых конструктивных и технологических решений и т.п.

Сложность выполнения работы определяют сравнением полученных результатов данного исследования с результатами известных аналогичных исследований с учетом денежных и трудовых затрат на их проведение.

Результативность НИР можно определить по полноте решений поставленной задачи: полученный результат соответствует плановому, удовлетворительное (частичное решение) или отрицательный.

Анализ зависимости между этими показателями и расходами на их достижение дает возможность количественной оценки технико-экономической эффективности теоретических НИР по формуле:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}}, \quad (4.8)$$

где $K_{\text{НДР}}$ – уровень эффективности исследования (коэффициент технико-экономической эффективности НИР)

$J = 2$ – важность работы;

$R = 1,5$ – результативность работы - рассчитаны основные характеристики и проведена ее оптимизация;

$T = 3$ – Техническая сложность выполнения НИР

$B_{\text{НДР}} = 77,515$ тыс. Грн - расходы на проведение НИР;

$t_{\text{НДР}} = 56$ дней - время проведения НИР;

$n = 2$ – показатель использования результатов НИР

При значении $K_{\text{НДР}} \geq 1$ исследовательская работа считается эффективной.

Итак, рассчитаем $K_{\text{НДР}}$:

$$K_{\text{НДР}} = (2^2 \cdot 1,5 \cdot 3) / (77,515 \cdot 0,224) = 1,03$$

После расчета (4.8) получим уровень эффективности исследования $K_{НИР} = 1,03$. Это более 1, поэтому делаем вывод, что данная исследовательская работа является эффективной.

5 ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

5.1 Анализ потенциальных опасностей

Поскольку тема дипломного проекта «Способы организации передачи данных видеоконтроля пространственно-разнесенных объектов» предусматривает проведение работ в помещении, оборудованном персональными компьютерами с визуальными дисплейными терминалами, необходимо рассмотреть мероприятия по обеспечению безопасности, производственной санитарии, гигиене труда и пожарной безопасности для помещения с персональными компьютерами.

На основе изучения и анализа, существующих и вновь разрабатываемых технологических процессов и применяемого оборудования, согласно ГОСТ 12.0.003-74 (1999) «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», выявляются опасные производственные факторы, воздействие которых на работающих может привести к ухудшению условий труда или травматизму. Рабочее место представляет собой набор различной компьютерной техники с визуальными дисплейными терминалами и периферией. Опасность в ходе работ будет заключаться при использовании источников питания, генерирующих устройств, подключении и отключении приборов с помощью вилок, розеток, переходных устройств, удлинителей.

Основные опасные производственные факторы, связанные с работой:

- поражение электрическим током из-за повышенного значения напряжения в электрической цепи или пробоя изоляции, замыкание которого может произойти через тело человека и привести к травме или летальному исходу;
- воздействие электрического поля из-за повышенной напряженности
- электрических полей, вследствие чего нарушаются физиологические
- функции: ритм сердечных сокращений, уровень кровяного давления,

- активность мозга, ход обменных процессов и иммунная активность;
- воздействие электромагнитного излучения из-за повышенного уровня
- электромагнитных излучений, что приводит к расстройству центральной нервной системы и заболеваниям сердечно-сосудистой системы;
- прохождение электрического разряда из-за повышенного уровня
- статического электричества и провоцирование рефлекторного движения
- человека, что в ряде случаев может привести к резкому движению и
- травме.
- Санитарно - гигиенические опасные производственные факторы, связанные с работой:
- ухудшение самочувствия человека из-за повышенной или пониженной
- температуры воздуха рабочей зоны, вследствие нарушения обменных
- процессов в организме и возникновения различных острых и
- хронических простудных заболеваний соответственно;
- попадание в легкие и на слизистые оболочки пыли, из-за повышенной
- запыленности воздуха рабочей зоны и провоцирование аллергических
- заболеваний органов зрения и дыхания;
- зрительное утомление и боль в глазах, из-за недостаточной освещенности рабочей зоны, которые приводят к снижению внимания и возможности травмирования;
- повреждение органов слуха и раздражение повышенным уровнем шума на рабочем месте вследствие чего происходит снижение остроты слуха, нарушается функциональное состояние сердечно-сосудистой и нервной систем;
- умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов и эмоциональные перегрузки из-за несоблюдения режима работы за ПК, что приводит к повышению утомляемости, снижению внимания и, как следствие, к возможности травмирования трудящегося;

- риск для здоровья и жизни персонала из-за несоблюдения правил противопожарной безопасности, что может привести к травмам, летальному исходу и материальным потерям;
- получение травм и материальных потерь из-за неправильного поведения персонала при ЧС.

5.2 Мероприятия по обеспечению безопасности

Техника безопасности – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих воздействие опасных производственных факторов.

При работе с измерительной техникой, персональными компьютерами и периферийными устройствами, главным опасным фактором является электричество.

Поражение электрическим током может привести к смерти или потере работоспособности.

Основные причины несчастных случаев от воздействия электрического тока:

- случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- появление напряжения прикосновения на конструктивных металлических частях электрооборудования в результате повреждения изоляции;
- появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки.

Электрические установки, к которым относится практически все оборудование ЭВМ, представляют для человека большую потенциальную опасность, так как в процессе эксплуатации или проведении профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под напряжением. Специфическая опасность электроустановок: токоведущие

проводники, корпуса стоек ЭВМ и прочего оборудования, оказавшегося под напряжением в результате повреждения (пробоя) изоляции, не подают каких-либо сигналов, которые предупреждают человека об опасности. Реакция человека на действие тока возникает лишь при протекании его через тело человека. При этом через тело человека проходит электрический ток, который вызывает термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие.

Согласно ПУЭ "Правилам устройства электроустановок" и НПА ОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» помещение, в котором находятся устройства, относится к помещениям без повышенной опасности поражения электрическим током.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности разработаны в соответствии с ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «Электробезопасность. Термины и определения» и ГОСТ 12.1.030-91 ССБТ «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление». Сеть электропитания включается и выключается при помощи пусковой аппаратуры (рубильником).

Для предотвращения поражения человека от воздействия электрического тока используется защитное заземление сопротивлением не более 4 Ом. Современная измерительная аппаратура и стендовое оборудование включаются в розетку с помощью трехполюсной вилки, один из полюсов которой служит для заземления. С ним электрически соединены металлические нетоковедущие части оборудования, которые могут оказаться под напряжением. В лаборатории используются только трехполюсные розетки, у которых соответствующий полюс соединен с шиной заземления.

Условия электробезопасности зависят от параметров окружающей среды, таких как влажность, температура, наличие токопроводящей пыли, материал пола. Для лаборатории выбрано помещение с токонепроводящим полом, без заземленных металлических конструкций. Для обеспечения

нужных характеристик воздушной среды предусмотрена вентиляция и очистка воздуха.

Все токоведущие части измерительной аппаратуры и стендового оборудования изолированы, а шнуры питания выполнены из проводов в двойной изоляции.

Разрядные токи статического электричества чаще всего возникают при прикосновении к любому из элементов ЭВМ. Такие разряды опасности для человека не представляют, но кроме неприятных ощущений, они могут привести к выходу из строя ЭВМ. Для защиты от статического электричества согласно ГОСТ 12.4.124-83 «Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования» предусмотрено экранирование источника стендового питания.

Для снижения величины возникающих зарядов статического электричества в лаборатории используется покрытие технологических полов из однослойного поливинилхлоридного антистатического линолеума. К общим мерам защиты от статического электричества в помещении также относится общее и местное периодическое увлажнение воздуха.

5.3 Мероприятия по промсанитарии и гигиене труда

На человека в процессе его трудовой деятельности могут также воздействовать и вредные (вызывающие заболевания) производственные факторы. Для снижения или нейтрализации их воздействия вводят следующие мероприятия.

Мероприятия по оздоровлению воздушной среды планируются в соответствии со значениями оптимальных метеорологических параметров, установленными ГОСТ 12.1.005-76 «Воздух рабочей зоны» и санитарными нормами СН512-72 «Инструкция по проектированию зданий и помещений для электронно-вычислительных машин» (см. таблицу 1). Для обеспечения этих значений метеорологических параметров и чистоты воздуха в

помещении предусматривается вентиляция, разработанная согласно ДБН Д.2.6-3-2000Сборник №3 «Системы вентиляции и кондиционирования воздуха».

Предусматривается очистка воздуха, используемого для вентиляции. Очистка необходима не только для предотвращения негативного воздействия пыли на здоровье работающих, но и потому, что пыль, оседая на микросхемах и других частях измерительной техники, ведет к выходу ее из строя и уменьшению ремонтпригодности. Вентиляция, охлаждение и очистка воздуха осуществляются бытовыми кондиционерами, установленными в окнах.

Таблица 5.1 - Оптимальные значения метеорологических параметров

Название параметра	Оптимальные значения
Температура	20 - 22°C в холодный период, 20 - 24°C в теплый период
Относительная влажность	40-60 %
Скорость движения воздуха	не более 0.2 м/с в холодный период, не более 0.3 м/с в теплый период

С целью обеспечения нужной температуры в холодное время года предусмотрено отопление помещения и нагрев воздуха, используемого для вентиляции согласно ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Пыль может оказывать на человека фиброгенное воздействие, при котором в легких происходит разрастание соединительных тканей, которое нарушает нормальное строение и функцию органа.

Основным направлением в комплексе мероприятий по борьбе с пылью является предупреждение ее образования или поступления в воздух рабочих помещений. Важнейшее значение в этом направлении имеют

мероприятия технологического характера. Технологические процессы, соответствующие ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», по возможности проводятся таким образом, чтобы образование пыли было полностью исключено, или, по крайней мере, сведено до минимума. С этой целью нужно максимально заменять сухие пылящие материалы влажными, пастообразными, растворами и обработку их вести влажным способом. При невозможности полного исключения пылеобразования, необходимо, путем соответствующей организации технологического процесса и использования соответствующего технологического оборудования, не допускать выделения пыли в воздух рабочих помещений. Это достигается, главным образом, путем организации непрерывного технологического процесса в полностью герметичной или, по крайней мере, максимально закрытой аппаратуре и коммуникациях.

Расчет освещенности

Расчет освещенности рабочего места сводится к выбору системы освещения, определению необходимого числа светильников, их типа и размещения. Исходя из этого, рассчитаем параметры искусственного освещения.

Обычно искусственное освещение выполняется посредством электрических источников света двух видов: ламп накаливания и люминесцентных ламп. Будем использовать люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеют ряд существенных преимуществ:

- по спектральному составу света они близки к дневному, естественному свету;
- обладают более высоким КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания);
- обладают повышенной светоотдачей (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания);
- более длительный срок службы.

Расчет освещения производится для комнаты площадью 15м², ширина которой 5м, высота - 3 м. Воспользуемся методом светового потока.

Для определения количества светильников определим световой поток, падающий на поверхность по формуле:

$$F = \frac{E * K * S * Z}{n},$$

где F – рассчитываемый световой поток, лм;

E – нормированная минимальная освещенность, лк (определяется по таблице). Работу радиотехника, в соответствии с этой таблицей, можно отнести к разряду точных работ, следовательно, минимальная освещенность будет E = 300лк;

S – площадь освещаемого помещения (в нашем случае S = 15м²);

Z – отношение средней освещенности к минимальной (обычно принимается равным 1,1...1,2, пусть Z = 1,1);

K – коэффициент запаса, учитывающий уменьшение светового потока лампы в результате загрязнения светильников в процессе эксплуатации (его значение зависит от типа помещения и характера проводимых в нем работ и в нашем случае K = 1,5);

n – коэффициент использования, (выражается отношением светового потока, падающего на расчетную поверхность, к суммарному потоку всех ламп и исчисляется в долях единицы; зависит от характеристик светильника, размеров помещения, окраски стен и потолка, характеризуемых коэффициентами отражения от стен (РС) и потолка (РП), значение коэффициентов РС и РП были указаны выше: РС = 40%, РП = 60%. Значение n определим по таблице коэффициентов использования различных светильников. Для этого вычислим индекс помещения по формуле:

$$I = \frac{S}{h * (A + B)},$$

где S – площадь помещения, S = 15 м²;

h – расчетная высота подвеса, $h = 2.92$ м;

A – ширина помещения, $A = 3$ м;

B – длина помещения, $B = 5$ м.

Подставив значения получим:

$$I = \frac{15}{2,92 * 3 + 5} = 0,64$$

Зная индекс помещения I , по таблице 7 находим $n = 0,22$

Подставим все значения в формулу для определения светового потока F :

$$F = \frac{300 * 1,5 * 15 * 1,1}{0,22} = 33750 \text{ лм}$$

Для освещения выбираем люминесцентные лампы типа ЛБ40-1, световой поток которых $F = 4320$ лк.

Рассчитаем необходимое количество ламп по формуле:

$$N = \frac{F}{F_{\text{л}}}$$

N - определяемое число ламп;

F - световой поток, $F = 33750$ лм;

$F_{\text{л}}$ - световой поток лампы, $F_{\text{л}} = 4320$ лм.

$$N = \frac{33750}{4320} = 8$$

При выборе осветительных приборов используем светильники типа ОД. Каждый светильник комплектуется двумя лампами.

Светильники включаются последовательно в зависимости от величины естественной освещенности.

Шум в определённых условиях может оказывать значительное влияние на здоровье и поведение человека. Шум может вызывать раздражение и агрессию, артериальную гипертензию (повышение артериального давления), тинитус (шум в ушах), потерю слуха.

Уровни звукового давления в октавных полосах частот 250–4000 Гц не должны превышать значений, установленных. Санитарными нормами

допустимых уровней шума на рабочих местах № 3223-85 «Санитарные нормы допустимых уровней шума на рабочих местах» и ГОСТ 12.1.003-88 «Шум. Общие требования безопасности».

Снижение шума и вибрации, воздействующих на человека, осуществляется следующими мероприятиями:

- применением звукоизолирующих устройств, для изоляции шумных агрегатов;
- выбором рационального режима труда и отдыха, сокращением времени нахождения в шумных условиях.

Работа с измерительной аппаратурой и стендовым оборудованием сопряжена с нервно-психическими перегрузками, которые связаны с умственным перенапряжением, перенапряжением анализаторов (особенно зрительных), монотонностью труда, эмоциональными перегрузками. Для уменьшения влияний этих факторов предусматриваются пятнадцатиминутные перерывы через каждый час работы, согласно СанПиН 2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы».

Также влияет на организм человека воздействие электромагнитных полей. Проявляется это влияние в функциональном расстройстве центральной нервной системы, субъективные ощущения при этом – повышенная утомляемость, головные боли и т.п. В результате длительного пребывания в зоне действия электромагнитных полей наступают преждевременная утомляемость, сонливость или нарушение сна, появляются частые головные боли, наступает расстройство нервной системы и др.

Основные меры защиты от воздействия электромагнитных излучений в соответствии с ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ «Электрические поля промышленной частоты. Допустимые требования напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах» и ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»:

- уменьшение излучения непосредственно у источника (достигается увеличением расстояния между источником направленного действия и рабочим местом, уменьшением мощности излучения генератора);

- экранирование источников излучения и рабочих мест (применение отражающих заземленных экранов в виде листа или сетки из металла, обладающего высокой электропроводностью – алюминия, меди, латуни, стали)

Периодически проводится проверка технического состояния экранирующих комплектов. Результаты проверки регистрируются в специальном журнале.

Для предостережения от выше сказанных опасностей необходимо соблюдать правила по технике безопасности.

Помещение представляет собой лабораторию, в которой используются измерительная техника и ЭВМ. Спроектирована согласно СНиП 2.04.05-91 «Строительные нормы. Отопление, вентиляция и кондиционирование» и СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания». При учете требований НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожарной безопасности Украины» и оборудована согласно ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам».

Поскольку площадь помещения составляет $S_{\text{пп}} = 31,5 \text{ м}^2$, а площадь, на которой располагается одно рабочее место с ВДТ, согласно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» должна составлять не менее $6,0 \text{ м}^2$, то в данном помещении можно разместить максимум пять компьютеризированных рабочих мест. Такого количества достаточно для технического оборудования производства.

Проверим, соответствует ли это число нормативу минимального объема помещения на одно рабочее место с ВДТ, согласно ДСанПіН

3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» ($V_{P.M.Min} = 20 \text{ м}^3$). Объем помещения составляет $110,25 \text{ м}^3$, а объем, приходящийся на одно компьютеризированное рабочее место - $V_{P.M.} = 27,56 \text{ м}^3$. Таким образом, норматив объема помещения на одно рабочее место ВДТ выполняется.

Планирование размещения компьютеризированных рабочих мест проводим с учетом следующих требований:

- рабочие места размещаются на расстоянии не менее 1м от стены со световыми прорезами;
- расстояние между боковыми поверхностями должно быть не менее 1,2м;
- расстояние между тыльной поверхностью одного ВДТ и экраном другого не должно быть менее 2,5м;
- проход между рядами рабочих мест должен составлять не менее 1м;

Также необходимо учесть размеры мебели на компьютеризированных рабочих местах, в частности рабочего стола. Согласно НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин», рекомендованные размеры стола для рабочего места ВДТ составляют: высота – 725 мм, ширина – 600-1400 мм, глубина - 800-1000 мм. Допустим, рабочий стол имеет такие размеры: ширина -1200 мм, глубина – 800 мм.

Лучше всего разместить компьютеризированные рабочие места рядами вдоль стены с окнами. Это даст возможность устранить зеркальное отражение на экране ВДТ источника природного света (окон) и попадания последних в поле зрения операторов, что ухудшает условия их зрительной работы.

5.4 Мероприятия по пожарной безопасности

Мероприятия по пожарной безопасности направлены на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, создание условий для успешного тушения пожара.

Данный тип помещения по пожаробезопасности относится к категории «В» согласно НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожарной безопасности Украины». Учитывая высокую стоимость оборудования, а также категорию их пожарной опасности, для испытаний выбрано помещение 2-й степени огнестойкости.

Предусматривается прокладка кабельных линий под технологическими съемными полами, выполненными из материала с пределом огнестойкости не менее 0.5 часа. Большинство электропроводок выполнены в газовых трубах.

Источником пожароопасности являются ЭВМ и периферийное оборудование. Они характеризуются высокой плотностью размещения электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, коммутационные кабели. При протекании тока возможен их перегрев, плавление изоляции и, как следствие, короткое замыкание, которое сопровождается искрением, перегрузками элементов электронных схем.

Для отвода от измерительной аппаратуры и стендового оборудования избыточной теплоты служат системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Используемая техника имеет для этих целей встроенные вентиляторы. Важно поддержание в зале нормальной температуры и чистоты воздуха.

Для предотвращения образования горючей среды предусматриваются следующие меры:

- изолирование аппаратуры от половых покрытий и мебели огнестойкими материалами или использованием специальной мебели для рабочего места;

- складирование легковоспламеняющихся носителей информации (дискеты, магнитные ленты), а также твердых копий (распечаток), архивных документов (нормативно-технической документации), которые не требуются в данный момент (красящие ленты, картриджи и т.д.), а также спиртосодержащих жидкостей в отдельное пожароизолированное помещение или сейфы.

Согласно норм оснащения помещений ручными огнетушителями на случай возникновения пожара предусматривается наличие в помещении с классом пожара горючих веществ и материалов: класс В - пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ и класс (Е) - пожары, связанные с горением электроустановок не менее одного огнетушителя ОУ-5. В качестве средства тушения пожара не может применяться вода (так как измерительная аппаратура и стендовое оборудование находится под напряжением), пена или порошок (ввиду опасности повреждения и выхода из строя дорогостоящей аппаратуры). Оптимальным является выбор углекислотного огнетушителя ОУ-5 согласно НАПБ Б.03.001-2004 «Типові норми належності вогнегасників». В помещении установлен один огнетушитель ОУ-5.

Предусматривается установка в помещении автоматического извещателя автоматической пожарной сигнализации (АГТС). Учитывая высокую стоимость оборудования, наличие разветвленных систем кондиционирования и вентиляции воздуха, большого числа скрытых коммуникаций, а также специфику загорания аппаратуры, выбран дымовой извещатель ИП-212-41М из расчета один извещатель на 25 м² защищаемой площади согласно НАПБ А.01.003-2009 «Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей в будинках та спорудах» и ДБН В.2.5-13-98 «Інженерне обладнання будинків

і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд». Следовательно, установлено 2 извещателя.

Таким образом, охрана труда обеспечивает безопасность и здоровые условия труда при работе с ЭВМ и периферийным оборудованием.

5.5 Мероприятия по обеспечению безопасности в чрезвычайных ситуациях

Методы защиты от влияния электромагнитного импульса на элементы производства.

Наибольшую опасность для радиоэлектронных средств представляет первая стадия генерирования электромагнитного импульса (ЭМИ) при ядерном взрыве, на которой, в соответствии с законом электромагнитной индукции, из-за чрезвычайно быстрого нарастания амплитуды импульса (максимум достигается на 3 – 5 нс после взрыва), наведенное напряжение может достигать десятков киловольт на метр на уровне земной поверхности, плавно снижаясь по мере удаления от эпицентра взрыва.

Амплитуда напряжения, наводимого ЭМИ в проводниках, пропорциональна длине проводника, находящегося в его поле, и зависит от его ориентации относительно вектора напряженности электрического поля. Так, напряженность поля ЭМИ в высоковольтных линиях электропередачи может достигать 50 кВ/м, что приведет к появлению в них токов силой до 12 кА.

ЭМИ генерируются при следующих видах ядерных взрывов: воздушном, наземном. Теоретически установлено, что в этих случаях его интенсивность зависит от степени асимметричности пространственных параметров взрыва. Поэтому воздушный взрыв, с точки зрения генерации ЭМИ, наименее эффективен. ЭМИ наземного взрыва будет иметь высокую

интенсивность, однако она быстро уменьшается по мере удаления от эпицентра.

Идеальной защитой от ЭМИ явилось бы полное укрытие помещения, в котором размещена радиоэлектронная аппаратура, металлическим экраном. Вместе с тем ясно, что практически обеспечить такую защиту в ряде случаев невозможно, т.к. для работы аппаратуры часто требуется обеспечить ее электрическую связь с внешними устройствами. Поэтому используются менее надежные средства защиты, такие, как токопроводящие сетки или пленочные покрытия для окон, сотовые металлические конструкции для воздухозаборников и вентиляционных отверстий и контактные пружинные прокладки, размещаемые по периметру дверей и люков.

Более сложной технической проблемой считается защита от проникновения ЭМИ в аппаратуру через различные кабельные вводы. Радикальным решением данной проблемы мог бы стать переход от электрических сетей связи к практически не подверженным воздействию ЭМИ волоконно-оптическим. Однако замена полупроводниковых приборов во всем спектре выполняемых ими функций электронно-оптическими устройствами возможно только в отдаленном будущем. Поэтому в настоящее время в качестве средств защиты кабельных вводов наиболее широко используются фильтры, в том числе волоконные, а также искровые разрядники, металлоокисные варисторы и высокоскоростные зенеровские диоды.

В основном лучше использовать высокоскоростные зенеровские диоды, действие которых основано на резком лавинообразном изменении сопротивления от относительно высокого значения практически до нуля при превышении приложенного к ним напряжения определенной пороговой величины. Кроме того, в отличие от варисторов, характеристики зенеровских диодов после многократных воздействий высоких напряжений и переключений режимов не ухудшаются.

Наиболее рациональным подходом к проектированию средств защиты от ЭМИ кабельных вводов является создание таких разъемов, в конструкции которых предусмотрены специальные меры, обеспечивающие формирование элементов фильтров и установку встроенных зенеровских диодов. Подобное решение способствует получению очень малых значений емкости и индуктивности, что необходимо для обеспечения защиты от импульсов, которые имеют незначительную длительность и, следовательно, мощную высокочастотную составляющую. Использование разъемов подобной конструкции позволит решить проблему ограничения массогабаритных характеристик устройства защиты.

Современное состояние проблемы ЭМИ можно оценить следующим образом. Достаточно хорошо исследованы теоретически и подтверждены экспериментально механизмы генерации ЭМИ и параметры его поражающего действия. Разработаны стандарты защищенности аппаратуры и известны эффективные средства защиты. Что касается полномасштабных испытаний систем связи и управления, то эта задача вряд ли будет решена в обозримом будущем.

Мощный ЭМИ можно создать не только в результате ядерного взрыва. Современные достижения в области неядерных генераторов ЭМИ позволяют сделать их достаточно компактными для использования с обычными и высокоточными средствами доставки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской работе проанализирована возможность реализации фрактальных антенн, выполненных на основе геометрии салфеток Серпинского и снежинок Коха. Сравнены полученные характеристики фрактальных антенн.

Для анализа многодиапазонных антенн для мобильного телефона использовался аппарат анализа цепей с сосредоточенными и распределенными параметрами, теория матриц, аппарат математического анализа и численные методы. Имитационное моделирование СВЧ устройств выполнено с использованием прикладных пакетов MathCAD, Microwave Office, AnsoftHFSS. Установлен, что для салфетки Серпинского:

- При увеличении номера рабочей зоны введение метаструктуры на поверхность подложки антенны приводит к уменьшению коэффициента отражения S_{11} , полоса пропускания сужается и резонанс становится более глубоким.

- С введением метаструктуры на поверхность подложки усиливается мультрезонансный характер частотной зависимости S_{11} , что позволяет применять одну антенну в нескольких частотных диапазонах, антенна становится более высокочастотной.

- Степень согласования сильно зависит от частоты и от типа применяемых метаструктур. Наблюдается логарифмическая периодичность повторения рабочих зон, причём первая зона практически совпадает во всех случаях.

- Антенна с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента DNG-среды обладает неплохой согласованностью, а антенна с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды хуже согласована с нагрузкой 50 Ом.

– В широком частотном диапазоне (0,9...2,5 ГГц) антенна остаётся слабонаправленной с ДН, близкой по форме к тороидальной. С ростом частоты появляется изрезанность ДН из-за сложной интерференции полей, порождаемых синфазными и противофазными участками возбуждения поверхности самой антенны ближним полем.

– И классическая салфетка Серпинского, и модифицированная антенна в сочетании с метаструктурой на подложке в виде альтернативного элемента ENG-среды имеют схожие диаграммы направленности, незначительно отличающиеся по усилению и очень устойчивые к изменению частоты.

Для снежинки Коха установлены следующие закономерности:

– По ширине полосы с изменением диэлектрической постоянной подложки в обоих вариантах антенны коэффициент отражения S_{11} уменьшается;

– При использовании Ш – образной щели наблюдается мульти-резонансный характер частотной зависимости S_{11} , что позволяет применять одну антенну в нескольких частотных диапазонах, антенна становится более высокочастотной.

– Степень согласования сильно зависит от частоты и от значения относительной диэлектрической постоянной подложки. Наблюдается логарифмическая периодичность повторения рабочих зон, причём первая зона практически совпадает во всех случаях.

– Снежинка Коха второй итерации с Ш – образной щелью показывает высокую степень согласования на резонансных частотах. А при использовании подложки с относительной диэлектрической постоянной $\epsilon=11.5$, позволяет использовать эту антенну в разных частотных диапазонах.

– В широком частотном диапазоне (0,9...2,5 ГГц) антенна остаётся слабонаправленной с ДН, близкой по форме к тороидальной. С ростом частоты появляется изрезанность ДН из-за сложной интерференции полей,

порождаемых синфазными и противофазными участками возбуждения поверхности самой антенны ближним полем.

- И снежинка Коха второй итерации с Ш - образной щелью и классическая снежинка Коха второй итерации в первой рабочей зоне имеют практически одинаковую диаграмму направленности не зависящую от значения относительной диэлектрической постоянной подложки.

- Значения модуля входного сопротивления в диапазоне от 0.9 ГГц до 2.4 ГГц всех антенн близка к 50 Ом.

- При использовании Ш – образной щели, наблюдается мульти-резонансный характер частотной зависимости S_{11} , что позволяет применять одну антенну в нескольких частотных диапазонах, антенна становится более высокочастотной.

- Степень согласования сильно зависит от частоты и от значения относительной диэлектрической постоянной подложки. Наблюдается логарифмическая периодичность повторения рабочих зон, причём первая зона практически совпадает во всех случаях.

- Снежинка Коха второй итерации с Ш - образной щелью показывает высокую степень согласования на резонансных частотах. А при использовании подложки с относительной диэлектрической постоянной $\epsilon=11.5$, позволяет использовать эту антенны в разных частотных диапазонах.

- В широком частотном диапазоне (0,9...2,5 ГГц) антенна остаётся слабонаправленной с ДН, близкой по форме к тороидальной. С ростом частоты появляется изрезанность ДН из-за сложной интерференции полей, порождаемых синфазными и противофазными участками возбуждения поверхности самой антенны ближним полем.

- И снежинка Коха второй итерации с Ш - образной щелью и классическая снежинка Коха второй итерации в первой рабочей зоне имеют практически одинаковую диаграмму направленности не зависящую от значения относительной диэлектрической постоянной подложки.

– Значения модуля входного сопротивления в диапазоне от 0.9ГГц до 2.4ГГц всех антенн близка к 50Ом.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Полынкин, А.В. Исследования характеристик радиоканала связи с беспилотными летательными аппаратами [Текст] / А.В Полынкин, Х.Т. Ле // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 7. ч.2. – с. 98 – 106.
2. Ghoreishian, I. The Spiro-Helical Antenna.[Текст] – Thesis for the Degree of Master of Science in Electrical Engineering. –Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VirginiaTech. Aug, 1999. – [Электронный ресурс] Режим доступа: [http:// scholar.lib.vt.edu /theses/available/ etd120899-112725/unrestricted/etdig.pdf](http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd120899-112725/unrestricted/etdig.pdf).
3. Курушин, А. А. Спиральные антенны в сотовых телефонах [Текст] / А.А.Курушин // ChipNews. – 2001. – № 10. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.chip@news.ru/archive/chipnews/200110/3>.
4. Слюсар, В.И. Многодиапазонные антенны современных мобильных телефонов. [Текст] – Радиоаматор, 2005, № 1, с. 50 – 51
5. Wheeler, H. A. A Helical Antenna for Circular Polarization. [Текст] – Proceedings of the IRE, Dec. 1977 p. – 1484–1488.
6. Божокин, С.В. Фракталы и мультифракталы [Текст] / С.В. Божокин, Д.А. Паршин. — М.: Ижевск, 2001. — 128 с.
7. Потапов, А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации [Текст] / А.А. Потапов. — М.: Логос, 2002. — 664 с.
8. Потапов, А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: топология выборки. [Текст]. – Мн.: Изд. «Университетская книга», 2005. — 848 с.
9. Слюсар, В.И. Метаматериалы в антенной технике: история и основные принципы [Текст] / В.И. Слюсар // ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ. – 2009. – №7. – С. 6-9.
10. Миттра, Р. Критический взгляд на метаматериалы. [Текст] / Р. Миттра // Радиотехника и электроника, 2007. – том 52 – № 9 – С. 1051–1058.
11. Слюсар, В.И. Фрактальные антенны [Текст] / В.И. Слюсар // Высокие технологии. – 2002. – №8. – С. 6-9.
12. Нудьга, А.А. Исследование многодиапазонной антенны на основе фрактальной антенны Серпинского [Текст] / А.А. Нудьга // Матер. XV Междунар. молодеж. Форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», 18 – 20 апреля 2011 г. – Харьков. – с. 20-21.
13. Слюсар, В.И. Метаматериалы в конструкции антенн [Текст] / В.И. Слюсар // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2009. – № 8. – С. 66-70.

14. Банков, С.Е. Анализ и оптимизация трехмерных СВЧ структур с помощью HFSS. [Текст] [Под ред. д.т.н., проф. Банкова С.Е.] / С.Е. Банков, А.А. Курушин, В.Д. Разевиг. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 208 с.
15. Банков, С.Е., Курушин А.А., Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft. [Текст] [Под ред. д.т.н., проф. Банкова С.Е.] / С.Е. Банков, А.А. Курушин. – М.: ЗАО НПО «Родник», 2009. – 256 с.
16. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения [Текст]: Справочник / Г.П. Демиденко, Е.П. Кузьменко, П.П. Орлов, В.А. Пролыгин, Н.А. Сидоренко. – К.: Вища школа, 1989. – 287 с.
17. Алексеев, С.В. Гигиена труда [Текст] / С.В. Алексеев, В.Р. Усенко. – М.: Медицина, 1988. – 576 с.
18. СТП 15-96. Відомче видання ЗНТУ. Пояснювальна записка до курсових і дипломних проектів. Вимоги і правила оформлення [Замість СТП 2070848.12-90: введ. 1997.01.01] [Текст]. – Запоріжжя: ЗНТУ, 1997. – 32 с.
19. Методические указания по экономическому обоснованию дипломных проектов для студентов специальностей 7.080403 «Программное обеспечение автоматизированных систем», 7.080402 «Информационные технологии проектирования» и 7.091501 «Компьютерные и интеллектуальные системы и сети» всех форм обучения / Сост. В.В. Остапенко, Е.М. Касьян, Е.М. Сердюк – Запорожье: ЗНТУ, 2009. – 22 с.
20. Методичні вказівки до дипломного проектування з розділу «Охорона праці» [Текст] / Укл.: Г.І. Дуднік, В.П. Порохненко, А.А. Потуремець, А.О. Писарський, О.В. Коваленко, О.М. Савчук. – Запоріжжя: ЗДТУ, 2000. – 60 с.