

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Институт радиоэлектроники и информационных технологий - РТФ
Кафедра высокочастотных средств радиосвязи и телевидения

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГАК

Зав. кафедрой ВЧСРТ

_____ Князев С.Т.

(подпись)

«_____» _____ 201__ г.

Разработка антенной системы метеорологической станции

Выпускная квалификационная работа

210400 2090 900 ПЗ

Руководитель _____

Мительман Ю.Е.

Нормоконтролер _____

Харитонов Ф.В.

Студент _____

Михалёв Н.Е.

гр. РИМ – 230502

Екатеринбург

2015

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит: 60 страниц, 14 таблиц, 7 источников.

Цель работы – разработка антенной системы метеорологической станции.

В процессе работы при помощи компьютерного моделирования были рассчитаны конструкции антенн наземной станции и коммутатора 1X8, изготовлены макеты. Результаты будут использованы Институтом радиоэлектроники и информационных технологий – РТФ Уральского Федерального Университета им. Б.Н. Ельцина при дальнейшей разработке метеорологического комплекса. В перспективе разрабатываемая антенная система будет использоваться на метеостанциях для радиозондирования атмосферы.

В данной работе производится выбор между секторной антенной с переключением каналов и кольцевой ФАР, и выбор оптимальной конструкции коммутатора.

В результате проведённой работы готовы 3 устройства: два коммутатора и один угол секторной антенны.

					210400 2090 900 ПЗ			
Изм	Лист	№ документа	Подпись	Дата				
Разработал		Киреев Е.С.			Разработка антенной системы метеорологической станции	Лит.	Лист	Листов
Проверил		Мительман Ю.Е.					2	104
Н. Контр.		Харитонов Ф.В.						
Утвердил		Князев С.Т.						
							УрФУ, ИРИТ-РТФ Кафедра ВЧСРТ Группа РИМ-230502	

СОДЕРЖАНИЕ

Реферат	Ошибка! Закладка не определена.
Содержание	3
Перечень используемых условных обозначений, сокращений, терминов	4
Введение	5
1. Обзор перестраиваемых антенных систем	8
1.1 Разработка секторной антенны	9
1.2 Разработка кольцевой фазированной антенной решётки	15
1.3. Разработка ненаправленной антенны круговой поляризации	23
2. Разработка и исследование моделей диаграммообразующих схем.....	28
2.1 Схема коммутатора с параллельно-последовательным соединением выходов	29
2.2 Схема коммутатора с параллельным соединением выходов	32
2.3 Схема коммутатора с параллельным соединением выходов и изменённой цепочкой питания	34
2.4 Схема коммутатора с подключенными рin диодами в линию.....	42
3. Результаты макетирования и экспериментального исследования антенных систем	45
3.1 Макетирование и исследование первого варианта коммутатора	46
3.2 Макетирование и исследование второго варианта коммутатора	50
3.3 Макетирование и исследование секторной антенны	54
4. Заключение	59
Список использованных источников	60

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СОКРАЩЕНИЙ, ТЕРМИНОВ

МС – метеорологическая станция

АС – антенная система

КУ – коэффициент усиления

ДОС – диаграммообразующая система

ДН – диаграмма направленности

ПУ – поворотное устройство

ФАР – фазированная антенная решётка

ВКР – выпускная квалификационная работа

ВВЕДЕНИЕ

Первые комплексные метеорологические измерения атмосферных характеристик и явлений стали проводиться ещё в 18 веке, когда отдельные учёные или научные общества занимались систематическим наблюдением за погодой. Согласно источнику [1], в 19 веке после учреждения центральных метеорологических институтов, в частности Главной физической обсерватории в Петербурге, основанной в 1849 году, МС получили единое руководство, а также общую программу наблюдений.

МС – это большой комплекс, который оснащается, по возможности, по последнему слову техники. В МС имеется метеорологическая площадка, где устанавливаются основные приборы: психрометрическая будка с термометрами и гигрометрами, приборы для измерения скорости и направления ветра, осадкомер, почвенные термометры и др., а также многие приборы находятся внутри здания МС, в котором ведётся обработка множества данных. Согласно источнику [1], наблюдения проводятся по стандартной программе в течение 10-минутного интервала времени через каждые 3 или 6 часов, а в некоторых случаях ежечасно. Полученные и обработанные данные передаются в установленные адреса (бюро погоды, авиационные метеостанции и т. п.).

Техническая оснащённость МС влияет на качество составления прогнозов погоды и предупреждений о её неблагоприятных явлениях, изучения климата и его изменений. И, соответственно, чем стабильнее и современнее оборудование, тем выше процент точного прогноза.

Одну из основных ролей играют наземные станции, в состав которых входят антенные системы. Такие АС могут состоять из двух и более антенн различных конструкций и направленных характеристик. Но для всех антенн имеется одно общее требование – высокий КУ и чем больше, тем лучше, т.к. от этого зависит дальность слежения за метеорологическим радиозондом, который собирает и передаёт на МС данные о состоянии атмосферы.

Благодаря современным средствам компьютерного моделирования можно в сжатые сроки определить оптимальные конструкции антенн и ДОС для решения поставленных задач.

В данной выпускной квалификационной работе стоит цель разработать антенную систему МС, в которую войдут одна антенна: секторная или кольцевая ФАР, с возможностью сканирования пространства в горизонтальной плоскости в диапазоне от 0 до 360 градусов. Обязательное требование, предъявляемое к антенне с электронным сканированием – при отклонении ДН на определённый угол уровень равносигнального направления между соседними ДН не должен быть ниже -2 дБ. Это позволит стабилизировать связь при переключении между соседними каналами с метеорологическим зондом, который может находиться в любом направлении относительно стационарного пункта наблюдения на МС. Ещё одно требование, предъявляемое к разрабатываемым антеннам – это соблюдение определённых размеров: диаметр антенны не должен превышать 1500 мм, а высота должна быть не более 500 мм. Такое требование не случайно, т.к. для разрабатываемой антенны сконструирован радиопрозрачный купол, имеющий вышеприведённые размеры. Данное обстоятельство снимает ряд проблемных вопросов с разработчика, потому что есть строго определённые рамки, от которых нежелательно отступать и всё, что будет находиться под куполом, не повлияет на парусность и устойчивость АС.

Также в АС войдёт ДОС, обеспечивающая коммутацию требуемых каналов секторной антенны или подключение сразу нескольких определённых излучателей в случае с кольцевой ФАР для формирования луча в заданном направлении. К ДОС предъявляется несколько требований, одно из которых – это получить рабочий макет малых размеров.

Все полученные результаты должны быть практически полезны и применимы для дальнейшей разработки эффективной АС метеорологического комплекса, которая проводится Институтом

радиоэлектроники и информационных технологий – РТФ Уральского
федерального университета им. Б.Н. Ельцина.

1. ОБЗОР ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ

Для уверенного приёма сигнала от метеорологического радиозонда необходимо сконструировать переключаемую антенну, обеспечивающую сканирование пространства в горизонтальной плоскости в диапазоне от 0° до 360° без серьёзных потерь в качестве принимаемого сигнала в равносигнальных направлениях (в соответствии с заданием). Для решения такой задачи существует два варианта конструкций антенн:

1) Использование направленной антенны, например волновой канал, с механическим приводом поворота угла антенны в горизонтальной плоскости. Данный способ наиболее распространён, но он имеет множество недостатков. Самый главный недостаток – это использование поворотных устройств, которые имеют высокую цену при ограниченном рабочем ресурсе, а это приводит к дополнительным и ненужным затратам при его замене. Также присутствует необходимость подвешивания антенны и ПУ на мачту, что ухудшает устойчивость такой системы к ветровой нагрузке и нужно применять дополнительные меры по укреплению мачты и так далее.

2) Использование антенны с электронным поворотом луча. В зависимости от используемой антенны имеется несколько способов управления поворотом ДН. Данный вариант конструкции предусматривает создание ДОС, но их стоимость, в любом случае, будет порядком ниже, чем закупка и обслуживание ПУ. Из недостатков таких антенн можно отметить более низкий КУ по сравнению с направленными антеннами, а также большие размеры.

Для решения задачи был выбран второй вариант, т.к. его реализация проще первого и, исходя из вышеизложенного, конструктивно надёжнее. Предполагается использование антенны на стационарном пункте МС и чем меньше будет присутствовать различных блоков в АС, тем лучше. Цель ВКР определена и теперь перейдём к разработке антенн.

1.1 Разработка секторной антенны

В качестве первого варианта антенны с электронным сканированием была выбрана секторная антенна, в которой поворот ДН осуществляется переключением каналов на определённый излучатель. В качестве излучателя используется четвертьволновый вертикальный вибратор, расположенный над экраном и имеющий уголкового отражатели.

В ходе моделирования была исследована секторная антенна с углом раскрытия 60° . После проведённой подстройки размеров антенны, были получены оптимальные ДН, по которым было определено, что уровень равносигнального направления при переключении между соседними секторами будет составлять более 3 дБ от максимума ДН. Во-первых, данное обстоятельство не соответствует поставленной задаче, а, во-вторых, очевидно, что при переключении между соседними излучателями связь с радиозондом может существенно ухудшаться.

В итоге, было принято решение спроектировать антенну, состоящую из восьми секторов с углом раскрытия сектора 45° (рисунок 1.1). Это позволит уменьшить провал уровня равносигнального направления.

Далее приведены необходимые расчёты в формулах 1.1-1.4:

Расчёт длины волны:

$$\lambda = c/f = 744 \text{ мм.} \quad (1.1)$$

Из формулы (1.2) для определения угла раскрытия сектора выразим длину раскрытия сектора (1.3):

$$\theta = (51^0 * \lambda) / (\sin \delta * L), \quad (1.2)$$

$$L = 0.707 * 45^0 / (51^0 * 744) = 838 \text{ мм.} \quad (1.3)$$

Т.к. выбран угол раскрыва сектора, равный 45 градусам, то положение точки возбуждения излучателя должно быть на расстоянии S , в пределах $(0,5 \div 1) \lambda$ [2].

Определим длину четвертьволнового вибратора по формуле 1.4:

$$h = \lambda/4 = 186 \text{ мм.} \quad (1.4)$$

По результатам расчётов было проведено моделирование антенны в программной среде Ansys HFSS. Полученная модель антенны приведена на рисунке 1.1.

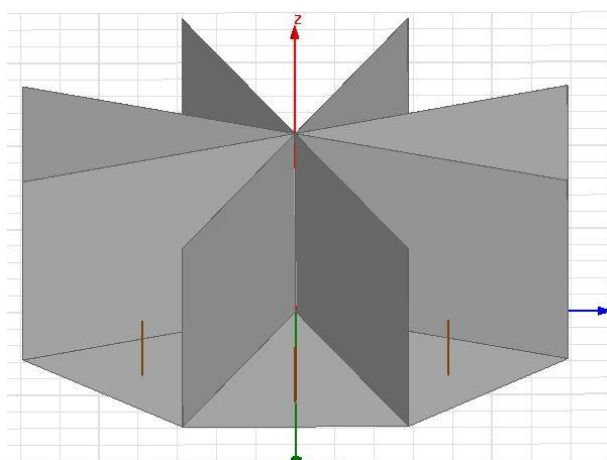


Рисунок 1.1 – Модель секторной антенны

ДН промоделированной антенны приведена на рисунке 1.2:

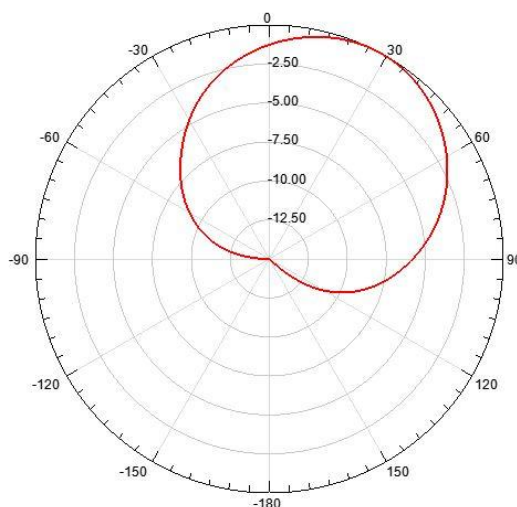


Рисунок 1.2 – ДН секторной антенны

Ширина ДН по уровню -3 дБ равна 86° . КУ антенны составил $8,5$ дБ. Далее посмотрим на рисунке 1.3, какой уровень имеет ДН в равносигнальном направлении при её повороте на 45° :

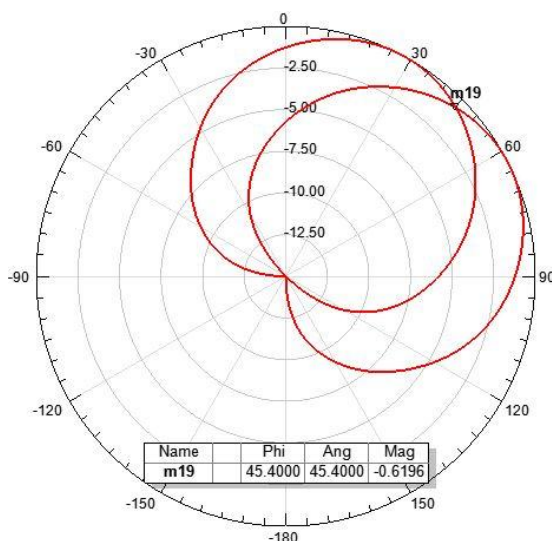


Рисунок 1.3 – ДН при повороте ДН на 45°

В равносигнальном направлении ДН имеет уровень $-0,62$ дБ относительно максимума ДН. Этот показатель говорит о правильном выборе типа антенны и успешном её проектировании. Однако КУ недостаточно высок, что ставит под вопрос выбор именно данного типа конструкции антенны с электронным сканированием пространства, потому что дальность слежения за радиозондом является одним из ключевых факторов.

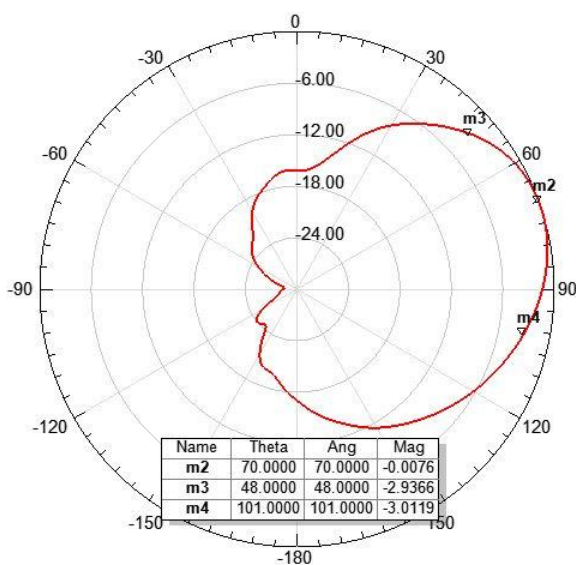


Рисунок 1.4 – ДН антенны в вертикальной плоскости E

На рисунке 1.4 изображена ДН в плоскости вектора E. Видно, что максимум излучения приподнят относительно горизонта на 20° , что, вероятно, может положительно сказаться на приёме полезного сигнала, т.к. снизится уровень сигнала отражённого от поверхности земли. В вертикальной плоскости ширина ДН по уровню -3 дБ от максимума составляет 53° .

Далее на рисунках 1.5-1.8 приведены характеристики антенны.

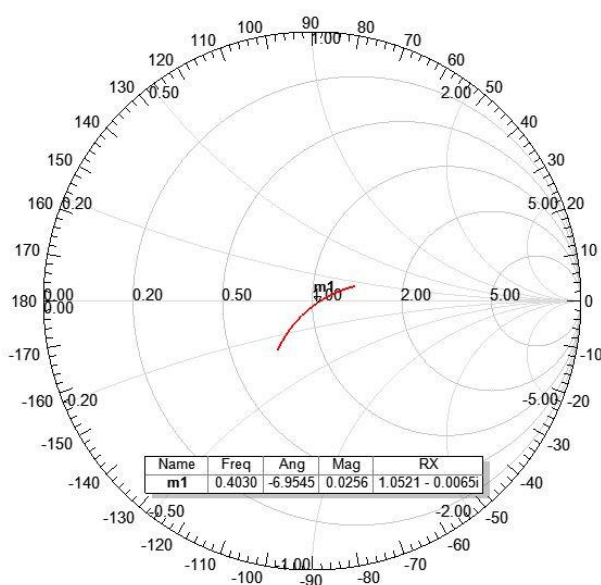


Рисунок 1.5 – Положение точки согласования по входу антенны на номограмме Вольперта-Смита

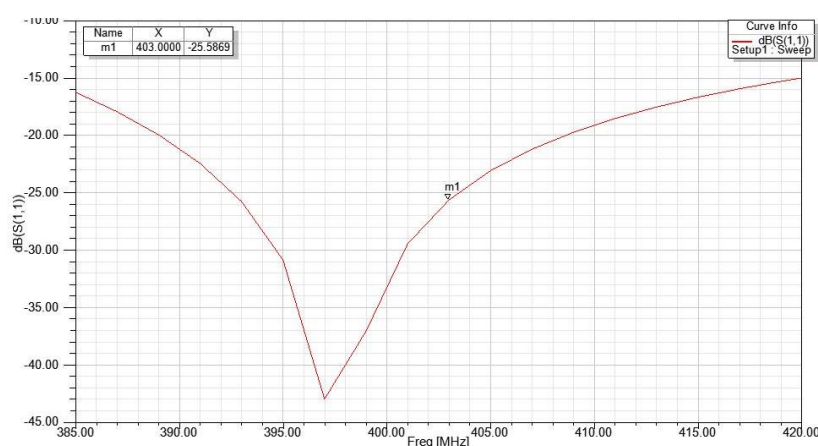


Рисунок 1.6 – Частотная зависимость коэффициента отражения S_{11} по входу антенны

По графику на рисунке 1.6 видно, что на заданной частоте коэффициент отражения $S_{11} = -25,59$ дБ. На рисунке 1.7 приведён график зависимости КСВ антенны от частоты:

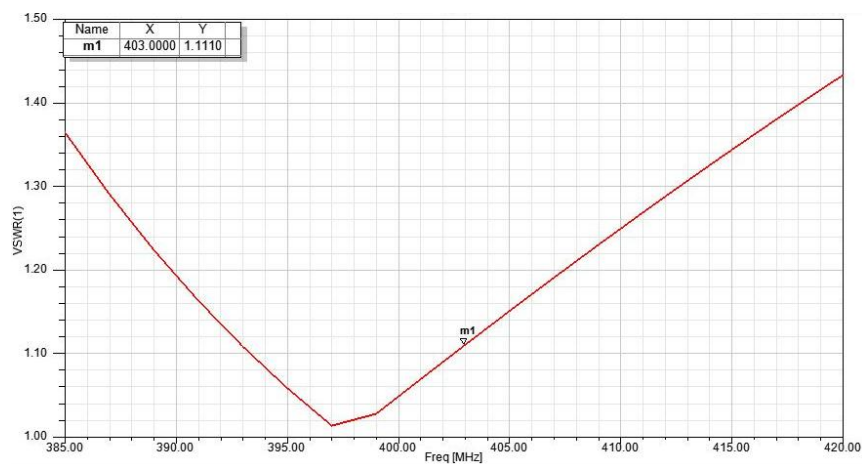


Рисунок 1.7 – График частотной зависимости КСВ антенны

На заданной частоте КСВ = 1,11. Это значение является приемлемым. А во всём рабочем диапазоне частот значения КСВ не превышают уровень КСВ = 1,5.

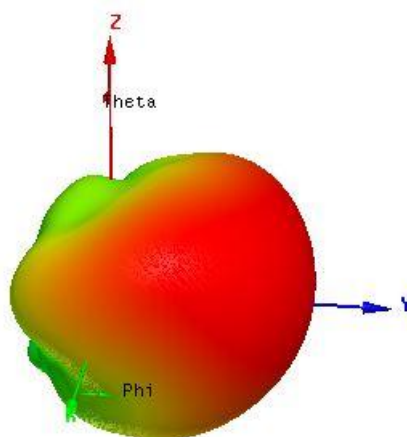


Рисунок 1.8 – Объёмная ДН антенны

Полученные результаты свидетельствуют об успешном моделировании антенны и данную модель можно реализовать в виде рабочего макета. В таблице 1.1 приведены размеры разработанной модели.

Таблица 1.1 Размеры секторной антенны

Диаметр антенны D, мм	1500
Высота антенны H, мм	500
Высота вибраторов h, мм	160
Расстояния от центра до точки подключения вибраторов x_0 , мм	550

Получены оптимальные результаты по завершении первого этапа разработки можно считать завершённым, поэтому перейдём к моделированию второго варианта антенны с электронным сканированием пространства.

1.2 Разработка кольцевой фазированной антенной решётки

В качестве второго варианта антенны с электронным сканированием пространства в горизонтальной плоскости была выбрана кольцевая ФАР, в которой поворот ДН осуществляется коммутацией определённых излучателей с заданной фазой. В данном варианте поворот ДН будет производиться на 45^0 , как и в первом варианте. В качестве излучателя используется четвертьволновый вибратор с рефлектором в виде цилиндра, расположенного в центре экрана. Все необходимые расчёты в соответствии с методикой [3] приведены в формулах 1.5-1.8.

Длина волны была рассчитана ранее по формуле 1.1. Поэтому следующим шагом по формуле 1.5 определим шаг решётки:

$$d = 0.6 * \lambda = 446 \text{ мм}, \quad (1.5)$$

затем, по формуле 1.6 рассчитаем диаметр решётки:

$$D = \lambda * (51 / \Delta\varphi) = 843 \text{ мм}, \quad (1.6)$$

где $\Delta\varphi$ – ширина ДН по уровню – 3 дБ.

Далее найдём необходимое число элементов по формуле 1.7:

$$N = (D * \pi) / (0.6 * \lambda) = 6. \quad (1.7)$$

Также следует определить расстояние между излучателем и рефлектором:

$$\Delta x = 0.25 * \lambda = 186 \text{ мм}. \quad (1.8)$$

По полученным размерам была спроектирована кольцевая ФАР, но, так же как и в случае с секторной антенной, шести излучателей оказалось недостаточно для формирования нужного уровня ДН в равносигнальном направлении, поэтому в конструкцию было добавлено дополнительно два

вибратора. Как указано в методике [3] в формировании ДН достаточно задействовать не более половины излучателей, в данном случае получаем четыре вибратора, в то время как оставшиеся четыре вибратора находятся в заднем полупространстве, которое экранируется металлическим цилиндрическим рефлектором.

В связи с этим, получаем, что для формирования ДН в направлении X, как указано на рисунке 1.9, вибраторы 3 и 8 нужно возбуждать синфазно, но со сдвигом по фазе относительно вибраторов 1 и 2.

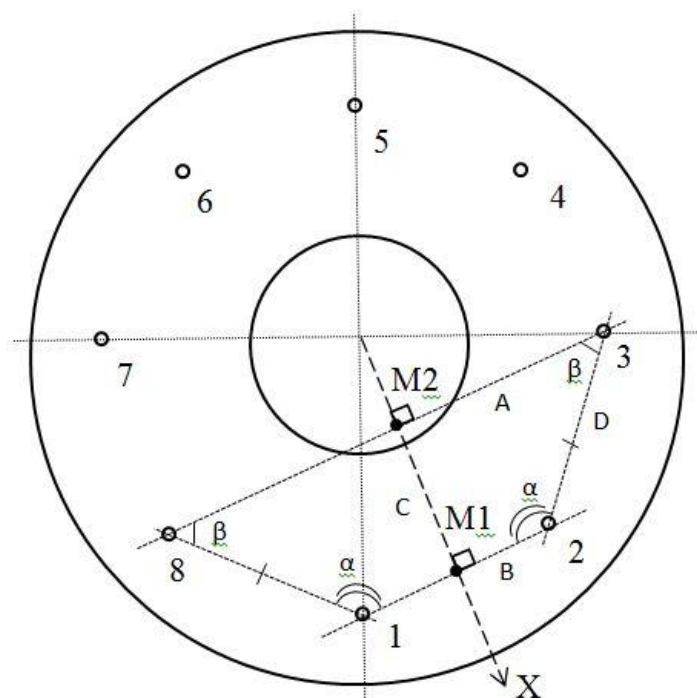


Рисунок 1.9 – Топология антенны

На рисунке 1.9 видно, что вибраторы, участвующие в формировании ДН в направлении X, образуют равнобедренную трапецию, из которой можно найти расстояние ΔM между фазовыми центрами M1 и M2 вибраторов 1,2 и 3,8, соответственно.

Вибраторы с 1 по 8 образуют правильный восьмиугольник, а из школьного курса по геометрии [4] известно, что все углы правильного восьмиугольника равны 135° . Следовательно, углы α в равнобедренной трапеции тоже равны 135° . Далее по свойству трапеции: сумма углов,

прилежащих к боковой стороне трапеции равна 180^0 , поэтому по формуле 1.9 получаем:

$$\beta = 180^0 - \alpha = 45^0. \quad (1.9)$$

Зная угол β , можем определить по формуле 1.10 сторону А, которая является основанием прямоугольной трапеции АDBC:

$$A = B + D \cdot \cos \alpha = 538 \text{ мм}. \quad (1.10)$$

Теперь, по формуле 1.11 можем определить сторону С, которая является искомой величиной и равна ΔM :

$$\Delta M = C = (D^2 - (A - B)^2)^{1/2} = 315 \text{ мм}. \quad (1.11)$$

Получив искомую величину ΔM , по формуле 1.12 можем, примерно, вычислить какой фазовый сдвиг должен быть между вибраторами 1,2 и 3,8:

$$\Delta \varphi = -k \cdot \Delta M = -152.5^0, \quad (1.12)$$

где k – волновое число и равно $k = (2 \cdot \pi) / \lambda$.

Моделирование антенны проводилось в программной среде Ansys HFSS. Полученная модель антенны приведена на рисунке 1.10, а её ДН изображена на рисунке 1.11 при возбуждении 1 и 8 вибраторов со сдвигом фазы $\Delta \varphi$ относительно 2 и 7 вибраторов

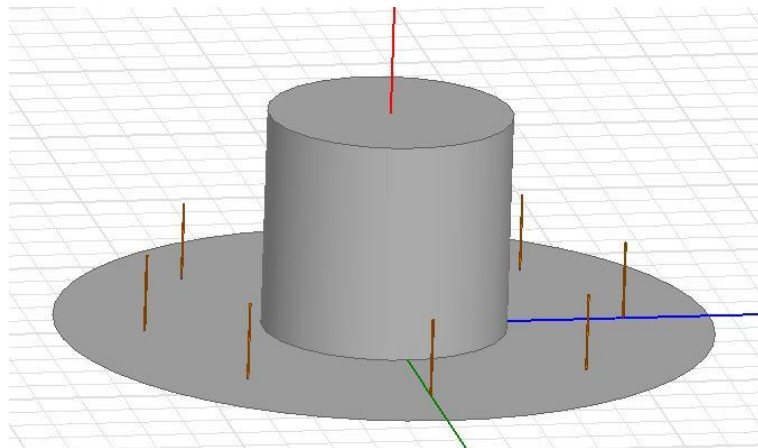


Рисунок 1.10 – Модель кольцевой ФАР

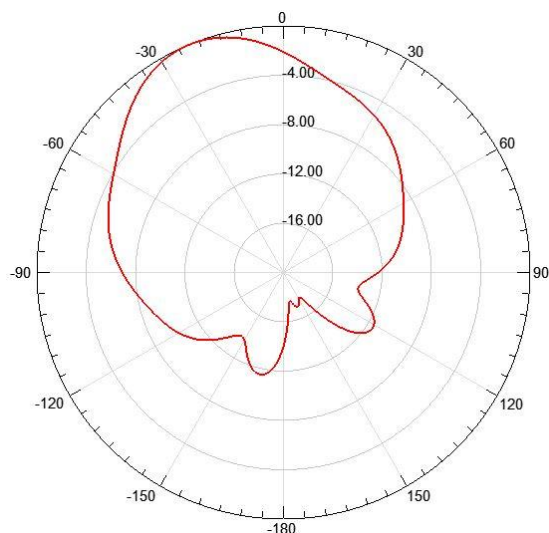


Рисунок 1.11 – ДН разработанной кольцевой ФАР

Ширина ДН по уровню – 3 дБ равна 63° . КУ антенны составил 8,9 дБ.

На рисунке 1.12 изображена ДН при её повороте на угол 45° :

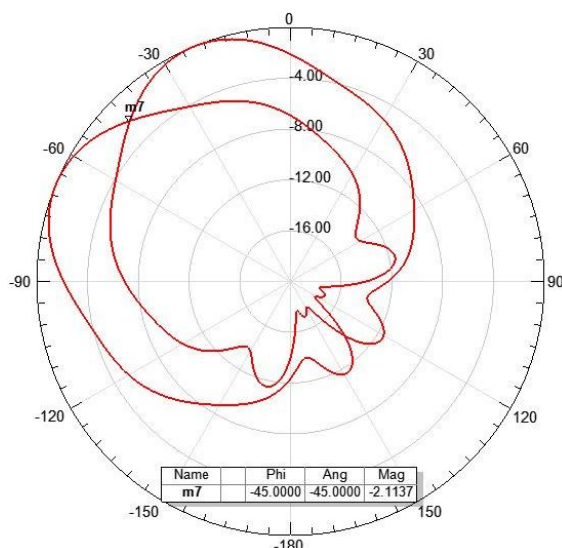


Рисунок 1.12 – ДН при повороте на 45°

Как видно по рисунку 1.12, в равносигнальном направлении провал составил – 2,11 дБ, что не соответствует требуемому уровню на – 0,11 дБ и хуже значения, полученного при моделировании секторной антенны на -1,49 дБ.

Далее была проведена параметрическая оптимизация антенны по шагу решётки и положению излучателя относительно рефлектора, а также по фазе и амплитуде возбуждения излучателей. Полученные результаты приведены на рисунках 1.13-1.17.

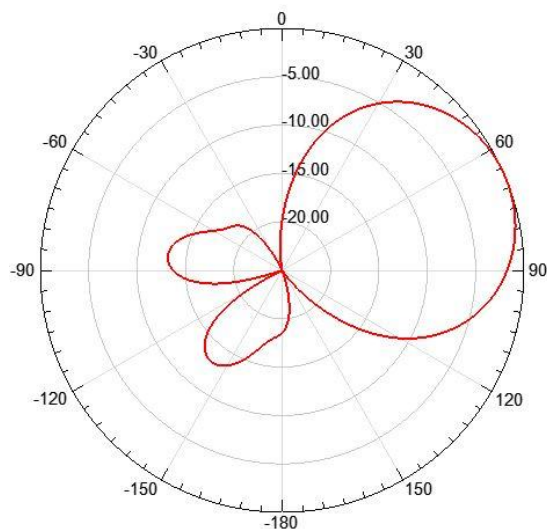


Рисунок 1.13 – ДН после параметрической оптимизации

КУ антенны составил 10,02 дБ и превзошёл КУ секторной антенны на 1,52 дБ, что в итоге приведёт к увеличению дальности слежения за зондом. Ширина ДН по уровню -3 дБ равна 59° .

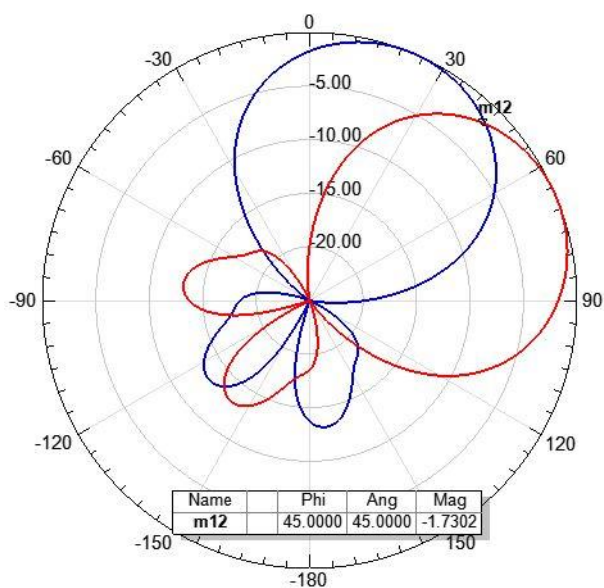


Рисунок 1.14 – ДН при повороте на 45° после параметрической оптимизации

Из рисунка 1.14 видно, что в равносигнальном направлении провал составил -1,73 дБ и этот уровень лучше требуемого на 0,27 дБ. Однако способ возбуждения, применённый в этой антенне, приведёт к усложнению ДОС.

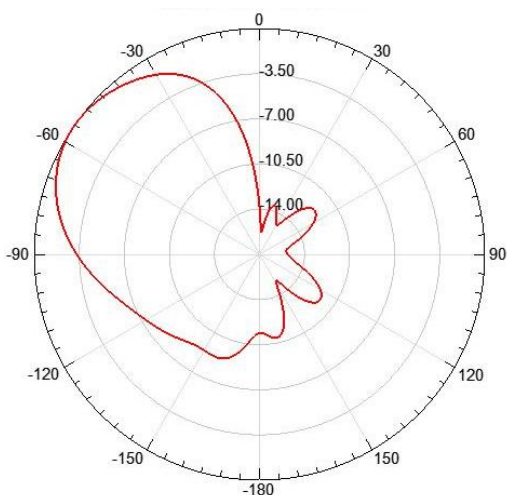


Рисунок 1.15 – ДН антенны в вертикальной плоскости E

На рисунке 1.15 изображена ДН в вертикальной плоскости. Видно, что максимум излучения приподнят относительно горизонта на 33° , случай аналогичный этапу разработки секторной антенны. Это может положительно сказаться на приёме полезного сигнала, т.к. снизится уровень сигнала отражённого от поверхности земли. В вертикальной плоскости ширина ДН по уровню -3 дБ от максимума составляет 68° .

На рисунке 1.16 изображено положение точки согласования по входу антенны на номограмме Вольперта-Смита.

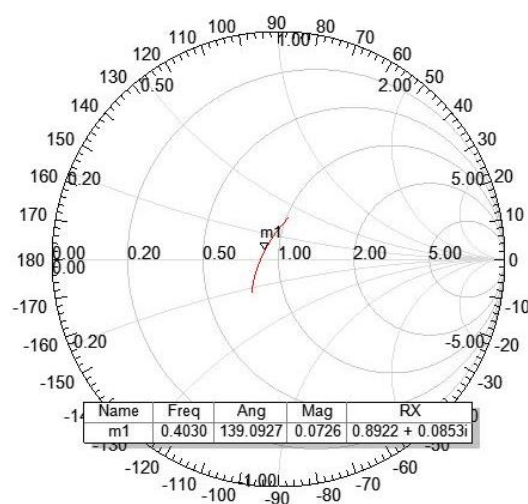


Рисунок 1.16 – Положение точки согласования по входу антенны на номограмме Вольперта-Смита

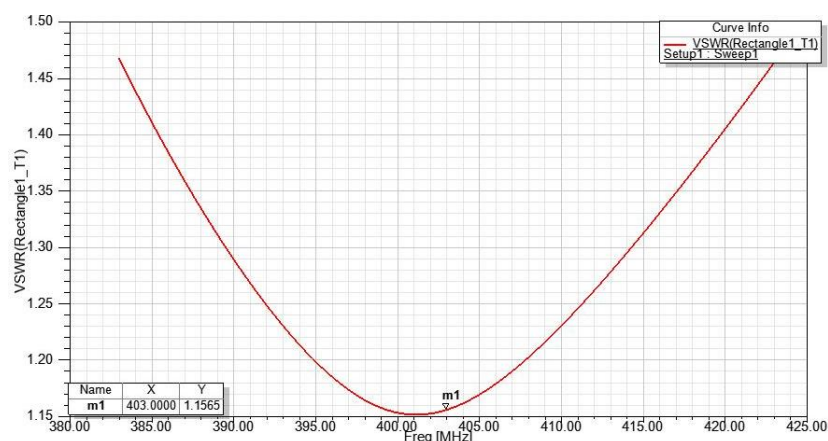


Рисунок 1.17 – КСВ антенны

Как видно по графику, изображённому на рисунке 1.17, КСВ антенны составил 1,16 на заданной частоте. Это значение является приемлемым. Во всём рабочем диапазоне частоте КСВ не превышает значения выше уровня 1,5. На рисунке 1.18 приведена объёмная ДН антенны:

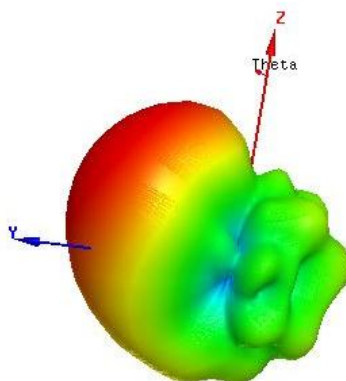


Рисунок 1.18 – Объёмная ДН антенны

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что разработанная кольцевая ФАР полностью соответствует всем предъявленным требованиям. Она имеет КУ выше, чем у секторной антенны, но обеспечивает большой провал в равносигнальном направлении. Получаем, что для оптимальной работы антенны придётся пожертвовать одним из этих показателей.

По полученной модели можно реализовать рабочий макет антенны. В таблице 1.2 приведены размеры разработанной модели антенны.

Таблица 1.2 Размеры кольцевой ФАР

Диаметр антенны D_1 , мм	1500
Высота антенны H_1 , мм	500
Высота вибраторов h_1 , мм	175
Радиус рефлектора R , мм	280
Шаг решётки d , мм	424
Расстояние между рефлектором и вибраторами x_1 , мм	274

По завершении моделирования двух типов антенны с электронным сканированием пространства и анализе полученных результатов, стало очевидным, что обе антенны не обеспечивают сканирование в вертикальной плоскости. При полном обороте луча на 360^0 образуется слепая зона непосредственно над антеннами в вертикальном направлении, что может привести к потере связи с метеорологическим зондом при его попадании в эту зону. Если получить картину ДН при полном обороте на 360^0 , то на ней будет виден конусообразный провал.

В связи с этим было решено добавить в АС ещё одну ненаправленную антенну круговой поляризации, которая обеспечит полное перекрытие слепой зоны. Разработка такой антенны приведена в следующей главе.

1.3. Разработка ненаправленной антенны круговой поляризации

Разработанные ранее антенны технологически позволяют расположить дополнительную антенну в центре экрана, например, в кольцевой ФАР это можно сделать внутри рефлектора, т.к. там имеется пустое пространство и расположение в нём антенны не повлияет на основные характеристики ФАР.

Диаметр рефлектора кольцевой ФАР равен 560 мм. Но всё пустое пространство занимать новой антенной нецелесообразно. Во-первых, это может отрицательно сказаться на излучении разрабатываемой антенны, т.к. она ненаправленная и её ДН может заметно исказиться. Во-вторых, помимо антенны внутри рефлектора для уменьшения АС можно разместить ДОС и источники питания при грамотном проектировании всего комплекса. Решено разработать квадрифилярную антенну, т.к. этот тип антенны подходит к решению поставленной задачи и имеет относительно небольшой диаметр. Этап разработки описан далее.

Для определения предварительных размеров квадрифилярной антенны была использована компьютерная программа Antenna Magus, в которой содержатся краткие описания многих типов антенн, а также имеется возможность быстро получить дизайн нужной антенны с указанием всех размеров и её характеристик. После задания параметров в соответствии с заданием на ВКР были получены результаты приведённые ниже.

На рисунке 1.19 приведён общий вид спроектированной антенны:

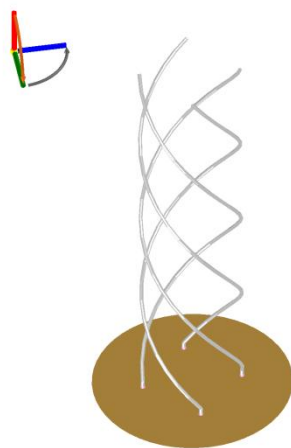


Рисунок 1.19 – Общий вид квадрифилярной антенны

На рисунках 1.20 и 1.21 приведены размеры антенны:

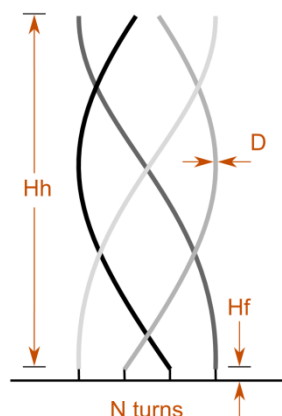


Рисунок 1.20 – Вид антенны сбоку с указанием размеров

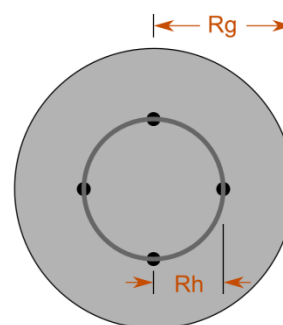


Рисунок 1.21 – Вид антенны сверху с указанием размеров

Полученная антенна имеет левую круговую поляризацию. Ниже приведена таблица 1.3 с размерами антенны, рассчитанными в Antenna Magus.

Таблица 1.3 Размеры квадрифилярной антенны

Высота спирали H_h , мм	417,4
Высота спирали над экраном H_f , мм	7,94
Диаметр витка D , мм	3,97
Количество оборотов N	1,018
Радиус основания R_g , мм	103,2
Радиус спирали R_h , мм	51,61

По полученным размерам можно сделать вывод, что рассчитанная квадрифилярная антенна полностью соответствует заданным рамкам, т.к. максимальный радиус антенны R_g меньше радиуса рефлектора кольцевой ФАР на 176,8 мм, а высота меньше на 82,6 мм.

Используя данные, приведённые выше, была промоделирована квадрифилярная антенна в программной среде Ansys HFSS. Модель антенны изображена на рисунке 1.22:

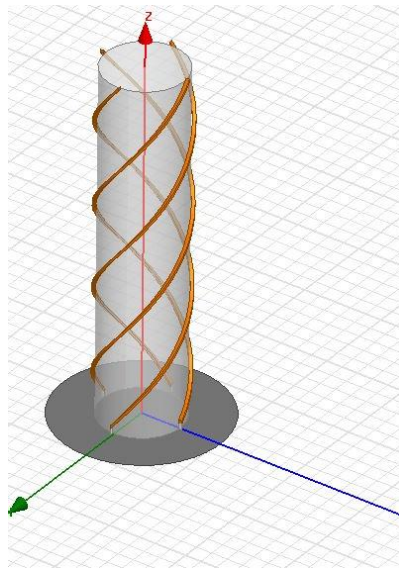


Рисунок 1.22 – Модель квадрифилярной антенны

Далее на рисунках 1.23-1.24 приведены ДН антенн, полученных в Antenna Magus и в Ansys HFSS.

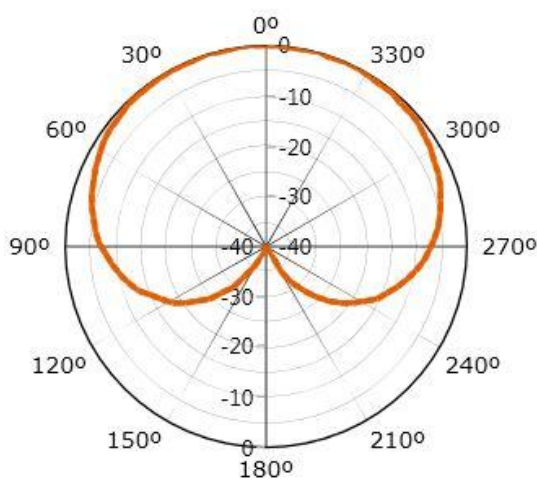


Рисунок 1.22 – ДН антенны в вертикальной плоскости, полученная в Antenna Magus

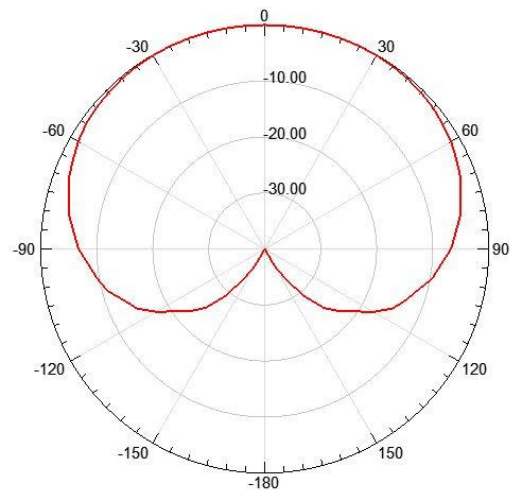


Рисунок 1.23 – ДН антенны в вертикальной плоскости, полученная в Ansys HFSS

КУ антенны в первом случае равен 4,43 дБ, а во втором 4,37 дБ. Далее на рисунках 1.24-1.39 приведены графики частотных зависимостей КСВ и коэффициента отражения по входу S_{11} , а также положение точки согласования на номограмме Вольперта-Смита:

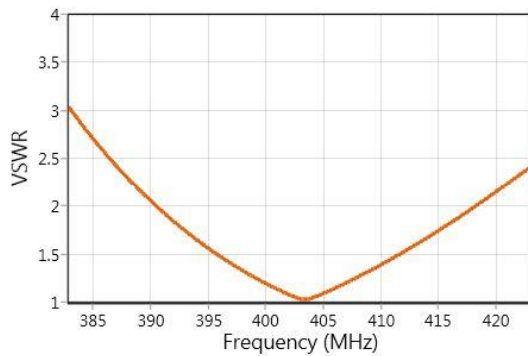


Рисунок 1.24 – КСВ антенны, полученный в Antenna Magus

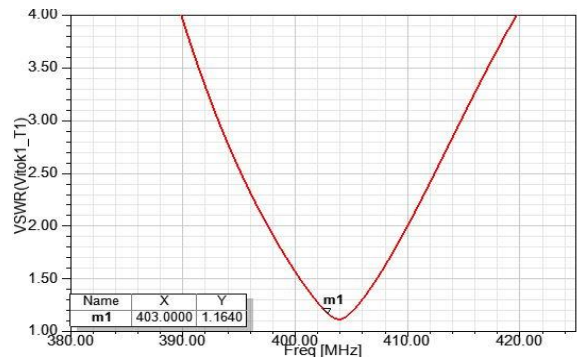


Рисунок 1.25 – КСВ антенны, полученный в Ansys HFSS

КСВ, полученный в Antenna Magus равен 1,027 на заданной частоте, а КСВ, полученный в Ansys HFSS равен 1,16. В обоих случаях результат удовлетворительный.

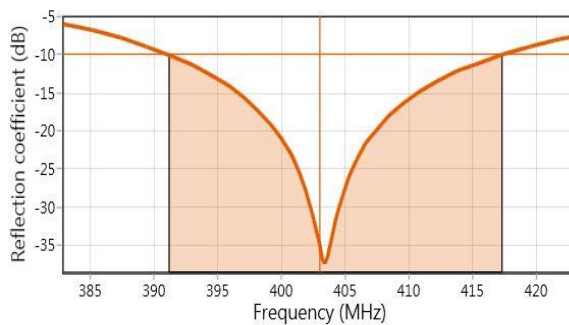


Рисунок 1.26 – Коэффициент, отражения S_{11} , полученный, в Antenna Magus

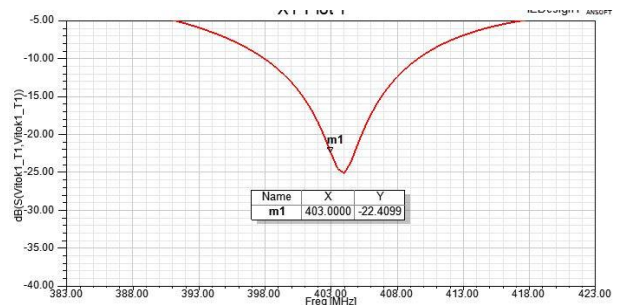


Рисунок 1.27 – Коэффициент отражения S_{11} , полученный, в Ansys HFSS

Коэффициент отражения S_{11} , полученный в Antenna Magus равен -37,4 дБ на заданной частоте, в Ansys HFSS – -22,4 дБ. Во втором случае коэффициент получился хуже на 15 дБ. Это можно объяснить тем, что в программе Antenna Magus даются примерные, оценочные характеристики. К тому же, в Ansys HFSS при моделировании задаётся больше параметров, приближенных к реальным условиям, которые могут повлиять на качественные показатели антенны.

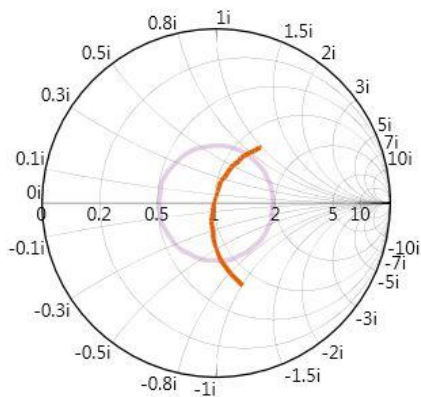


Рисунок 1.28 – Положение точки согласования на номограмме Вольперта-Смита, полученная в Antenna Magus

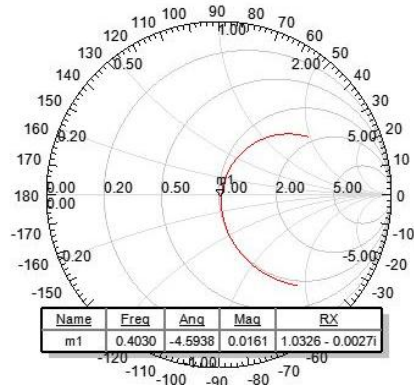


Рисунок 1.29 – Положение точки согласования на номограмме Вольперта-Смита, полученная в Ansys HFSS

На рисунках 1.30 и 1.31 представлены объёмные ДН:

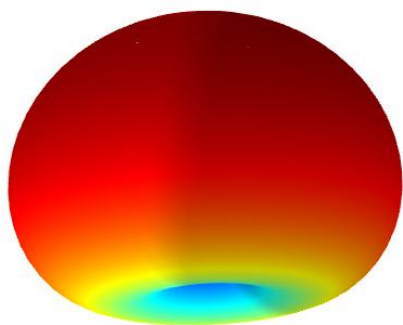


Рисунок 1.30 – Объёмная ДН, полученная в Antenna Magus

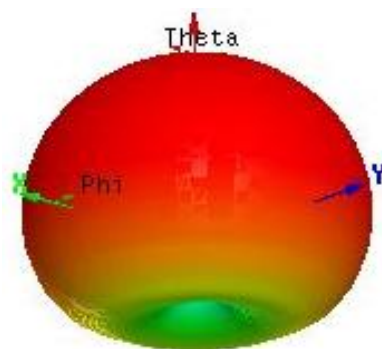


Рисунок 1.31 – Объёмная ДН, полученная в Ansys HFSS

По представленным результатам видно, что моделирование и предварительные расчёты антенны, практически, идентичны. Эти данные можно использовать при макетировании антенны. Но у этого типа антенны есть один недостаток, необходимо обеспечить сдвиг по фазе относительно каждого витка на 90° . Это потребует дополнительной разработки ДОС.

2. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ДИАГРАММООБРАЗУЮЩИХ СХЕМ

В качестве диаграммообразующей схемы было решено разработать коммутатор с одним входом и восемью выходами, реализованный на микрополосковых линиях. Во-первых, такой тип коммутатора соответствует поставленной задаче, т.к. рассматриваемые антенны имеют 8 излучателей, а во-вторых, можно достичь максимально допустимых малых размеров устройства благодаря микрополосковому исполнению. Исходные данные к разработке коммутатора приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 Исходные данные к разработке коммутатора

Центральная частота, f_0	403 МГц
Рабочая полоса частот, Δf	6 МГц
Используемая подложка	стеклотекстолит FR-4
Диэлектрическая проницаемость, ϵ	4,5
Высота подложки, Н	2 мм
Тангенс угла диэлектрических потерь, δ	0,02

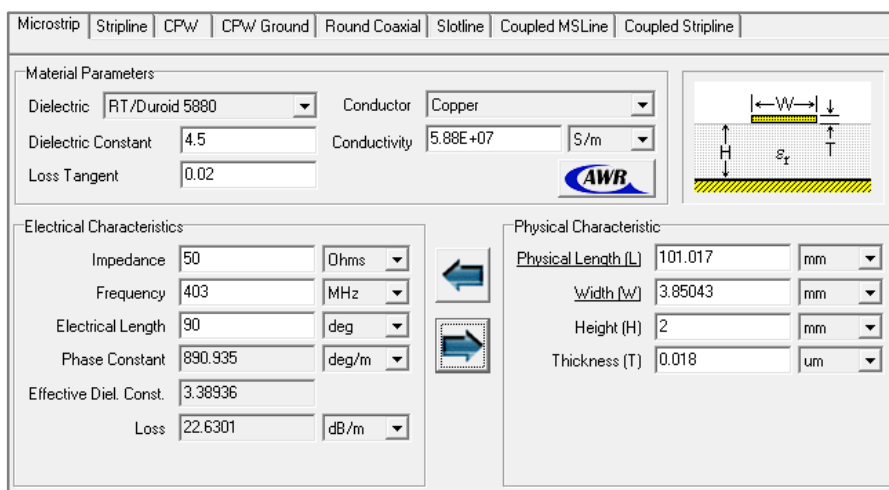
Коммутацию линий было решено осуществить с помощью pin диодов, т.к. они имеют малые размеры и хорошие эксплуатационные показатели. В технической литературе не нашлось подходящей конструкции коммутатора подобного типа (большинство ограничивается шестью выходами), поэтому проектирование проходило в несколько этапов, включающих в себя множество схем, каждая из которых дополняла предшествующую.

Далее кратко описаны этапы разработки коммутатора, по результатам которых была выбрана оптимальная схема, а также подходящий тип pin диода. Цель разработки – получить малогабаритный конечный макет коммутатора, при этом обеспечивающий хорошие показатели, такие как коэффициент передачи S_{21} , коэффициент отражения по входу S_{11} и т.д.

2.1 Схема коммутатора

с параллельно-последовательным соединением выходов

Моделирование схемы коммутатора осуществлялось в программной среде AWR DE, а необходимые расчёты размеров линии проводились с использованием встроенного в AWR DE приложения TXLine. Полученные результаты приведены на рисунке 2.1.



The screenshot shows the TXLine software interface with the following data:

Material Parameters	
Dielectric	RT/Duroid 5880
Dielectric Constant	4.5
Loss Tangent	0.02
Conductor	Copper
Conductivity	5.88E+07 S/m

Electrical Characteristics	
Impedance	50 Ohms
Frequency	403 MHz
Electrical Length	90 deg
Phase Constant	890.935 deg/m
Effective Diel. Const.	3.38936
Loss	22.6301 dB/m

Physical Characteristic	
Physical Length (L)	101.017 mm
Width (W)	3.85043 mm
Height (H)	2 mm
Thickness (T)	0.018 um

The interface also includes a diagram of a microstrip line on a dielectric substrate with labels for width (W), height (H), and thickness (T).

Рисунок 2.1 – Результаты расчётов размеров линии в TXLine.

Далее на основе полученных результатов была спроектирована первая схема коммутатора с параллельно-последовательным подключением выходов. Полученная схема приведена на рисунке 2.2, а её характеристики на рисунках 2.3 и 2.4.

Как говорилось ранее, коммутация линий осуществляется с помощью pin диодов. Управление диодами производится следующим образом: при подаче напряжения U номиналом 12 В диод переходит в «открытое» состояние и через него проходит мощность, а при отсутствии напряжении диод переходит в «закрытое» состояние и полностью блокирует прохождение сигнала.

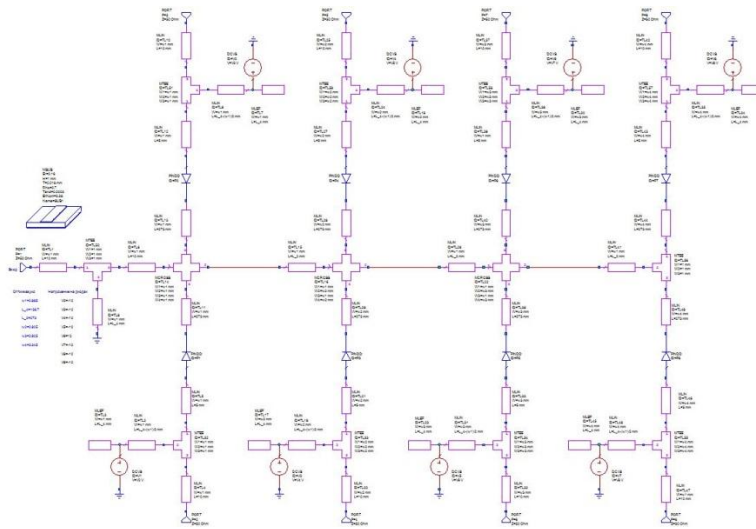


Рисунок 2.2 – Схема переключателя с параллельно-последовательным соединением выходов

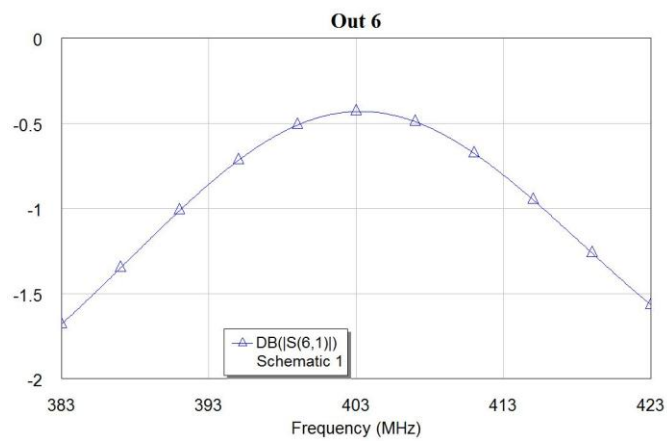


Рисунок 2.3 – График частотной зависимости коэффициента передачи S61 при открытых pin диодах

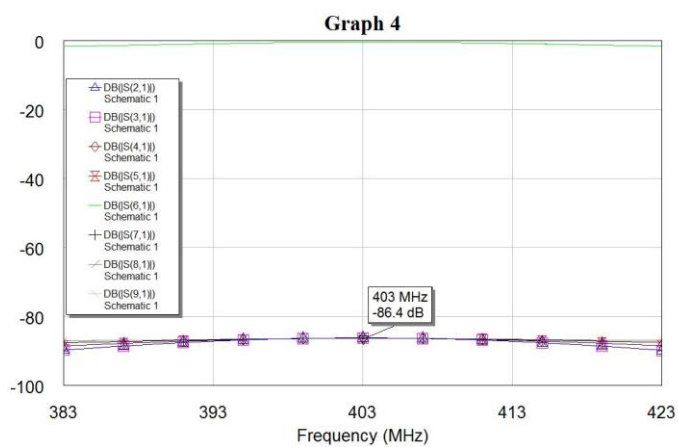


Рисунок 2.4 – График частотных зависимостей коэффициентов передачи SN1 по всем портам при закрытых pin диодах

По приведённым выше графикам видно, что данный тип схемы работает и имеет хорошие характеристики, однако при таком типе разветвления линий размеры устройства слишком громоздки: (140x57) см, что для реального устройства непозволительно, учитывая задачу получить устройство малых размеров. Поэтому переходим к следующей схеме.

2.2 Схема коммутатора с параллельным соединением выходов

На рисунке 2.5 изображена схема коммутатора с параллельным соединением выходов. Данный способ подключения выходов позволил уменьшить размеры конечного устройства, при этом сохранились на хорошем уровне частотные зависимости коэффициентов передачи. На рисунке 2.6 приведён график частотных зависимостей коэффициентов передачи по всем портам при одном открытом pin диоде.

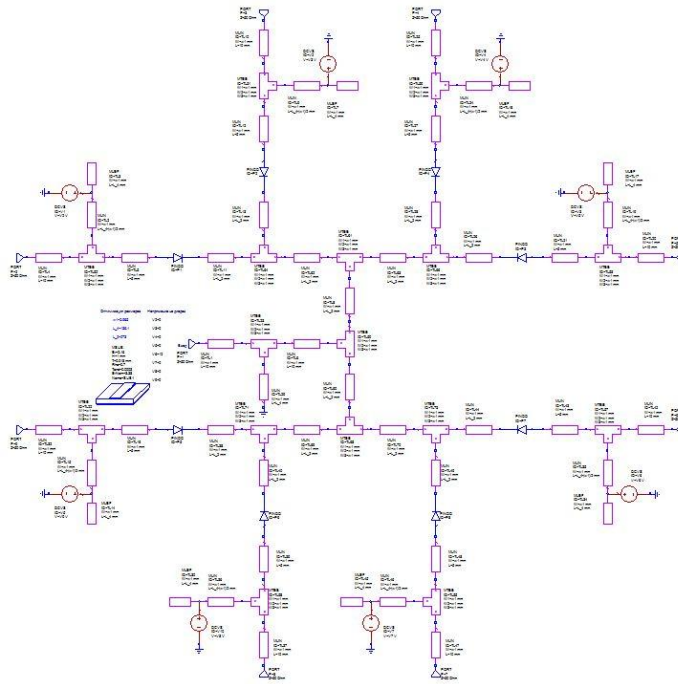


Рисунок 2.5 – Схема коммутатора с параллельным соединением выходов

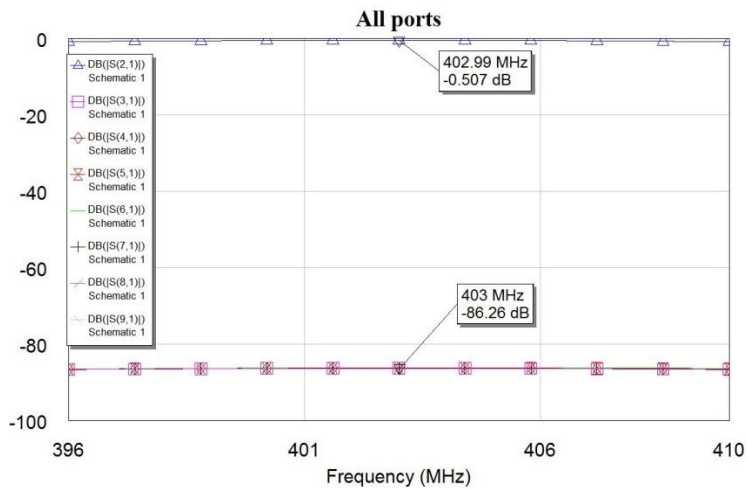


Рисунок 2.6 – График частотных зависимостей коэффициента передачи по всем портам

Стоит отметить, что в библиотеках AWR DE нет портов с одним входом и восемью выходами, поэтому было необходимо добавлять дополнительные шлейфы в схему, чтобы обеспечить необходимое разветвление линий. В итоге, это привело к увеличению размеров коммутатора. Данную проблему можно решить несколькими способами, в том числе, непосредственно в самом AWR DE, или же можно воспользоваться сторонней программой по моделированию антенн и микроволновых устройств, таких как, например, Ansys HFSS. В одной из следующих глав будет описано решение подобной проблемы, а сейчас переходим к следующему этапу проектирования.

2.3 Схема коммутатора с параллельным соединением выходов и изменённой цепочкой питания

Следующим шагом стояла задача, по возможности, как можно больше уменьшить размеры устройства, а также создать условия, при которых высокочастотная мощность не проходила бы через *rip* диоды, обеспечив тем самым более длительный срок работы диодов, а также исключить влияние, вносимое диодами на коэффициент передачи, т.е. уменьшить затухание в линии. Это удалось получить благодаря созданию новой цепочки, в которой *rip* диод одним концом с отрицательным потенциалом подключен к линии передачи, а другим концом с положительным потенциалом последовательно подключен к заземлённому конденсатору. В данном варианте источник управляющий диодом подключен параллельно конденсатору.

Благодаря этим нововведениям изменился принцип управления *rip* диодом: при включении источника диод открывается и одновременно заряжается конденсатор, а в выходной цепочке образуется КЗ, т.е. можно сказать, что выходной порт «закрыт»; при отключении источника диод остаётся открытым до тех пор, пока не разрядится конденсатор, и как только это происходит – диод закрывается, таким образом, коротко замыкающая цепочка становится изолированной, а выходной порт «открыт». Полученная модель коммутатора приведена на рисунке 2.7, топология на рисунке 2.8, а его характеристика – на рисунке 2.9.

Отметим, что недостатком такой схемы является необходимость непрерывной подачи напряжения на *rip* диоды, в результате чего постепенно рабочий ресурс конденсаторов и диодов будет исчерпываться.

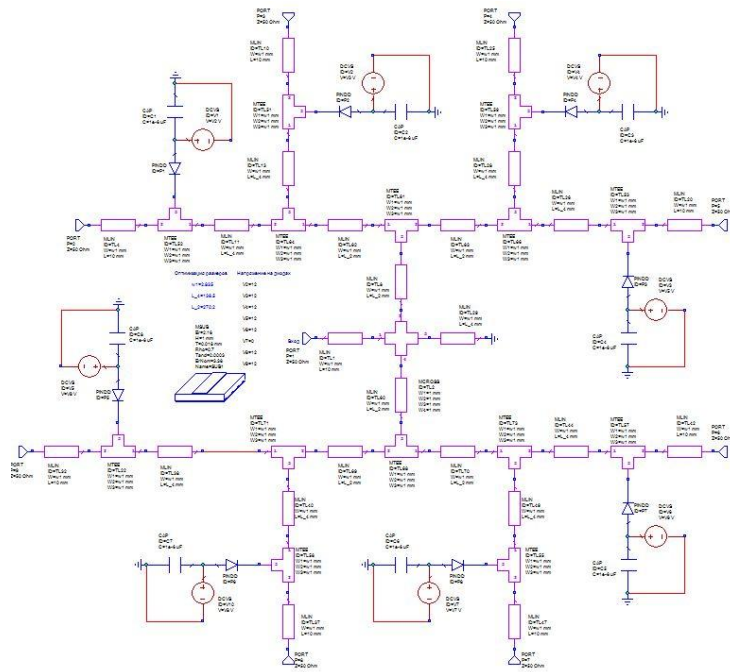


Рисунок 2.7 – Схема переключателя с параллельным соединением выходов

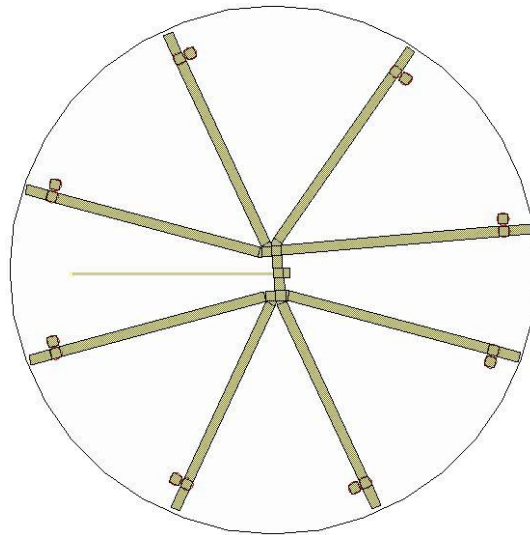


Рисунок 2.8 – Топология коммутатора

В данном варианте диаметр устройства составил 260 мм, что, значительно, лучше предыдущих версий коммутатора. В дальнейшем эта схема использовалась для создания реального макета и снятия экспериментальных характеристик.

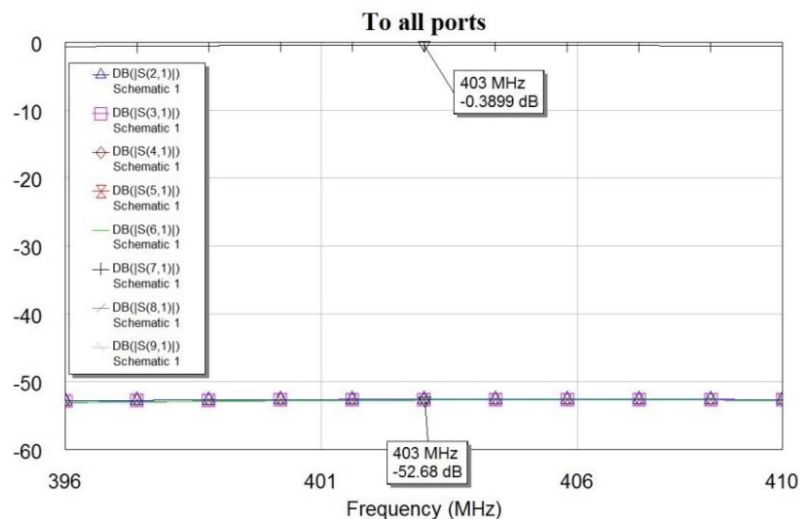


Рисунок 2.9 – График частотной зависимости коэффициентов передачи с первого порта на остальные

Все приведённые выше результаты получены при идеальных параметрах r_{in} диодов. Поэтому следующим шагом стал выбор реального r_{in} диода СВЧ диапазона, обеспечивающего функционирование коммутатора без серьёзных ухудшений характеристик.

На кафедре в достаточном количестве имелись r_{in} диоды типа КА517А-2, которые имеют следующие размеры (рисунок 2.10) и характеристики (таблица 2.2):

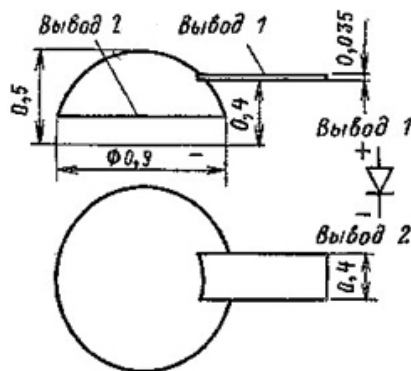


Рисунок 2.10 – Топология с указанием размеров r_{in} диода КА517А-2

Таблица 2.2 Паспортные данные pin диода КА517А-2

Гибкий вывод	положительный
Жёсткий вывод	отрицательный
Общая ёмкость диода, пФ	от 0,15 до 0,3
Прямое сопротивление потерь, Ом	не более 5
Обратное сопротивление потерь, кОм	не более 3

При использовании данного типа pin диода в разрабатываемых схемах после проведения подстройки параметров коммутатора получили характеристики, приведённые на рисунке 2.11:

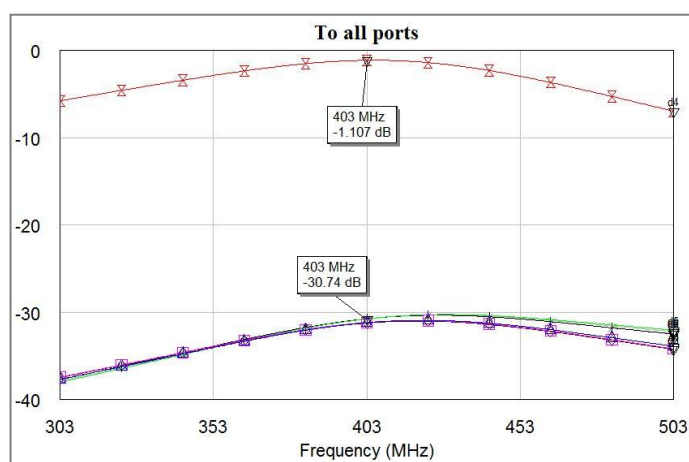


Рисунок 2.11 – Коэффициенты передачи по всем портам при одном открытом выходе

По графику видно, что реальные параметры pin диода привели к дополнительному затуханию, но эти значения не критичны. Далее все схемы спроектированы с применением данного типа pin диода.

В следующем этапе модель претерпела некоторые изменения:

1) схема разветвления линий от центрального порта по сравнению с предыдущей версией (рисунок 2.7) получила вид типа «созвездие» (рисунок 2.12). Данное преобразование позволило исключить из всей схемы коммутатора дополнительные линии. К тому же, сама реализация ответвлений в «старой» версии имеет больше минусов, чем плюсов, так, например, в такой схеме имеются прямые углы, из-за которых возникают

ненужные переотражения, что приводит к ухудшению коэффициента передачи S_{21} ;

2) К π и ρ диодам в точке подключения к ним конденсаторов были добавлены дополнительные шлейфы длиной $\lambda_d/4$ и последовательно подключенные конденсаторы (рисунок 2.13). Полученная цепочка является колебательным контуром, по сути, выполняющим роль фильтра 1-ого порядка. Данный фильтр было решено добавить в схему для развязки источника питания с линией передачи.

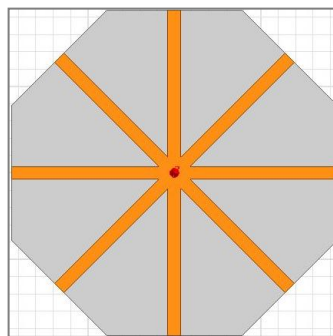


Рисунок 2.12 – Модель разветвления шлейфов коммутатора вида «созвездие»

Такой тип разветвления был промоделирован в программной среде Ansys HFSS в заданном частотном диапазоне: (383-423) МГц. Далее с помощью экспорта был создан файл формата, подходящего для импорта в AWR DE, с рассчитанной матрицей рассеяния. В AWR DE данная модель была загружена как порт с одним входом и восемью выходами, к которому, с учётом размеров линий передачи, были добавлены линии, промоделированные в AWR DE, изображённые на рисунке 2.13:

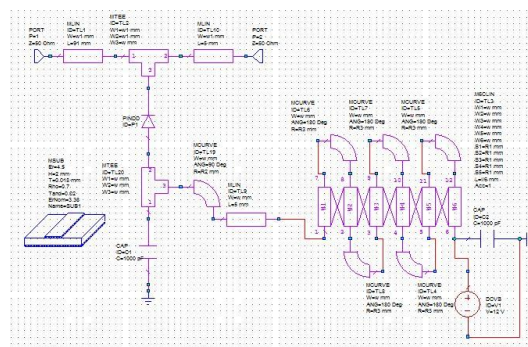


Рисунок 2.13 – Схема линии передачи коммутатора

Топология приведённой выше линии изображена на рисунке 2.14:

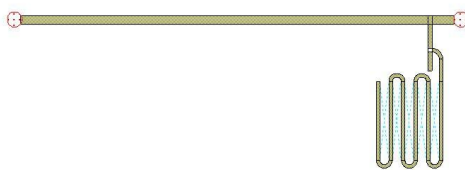


Рисунок 2.14 – Топология линии передачи коммутатора

Данная линия имеет длину $L = \lambda_{\text{д}}/4 + 5 \text{ мм} = 101 \text{ (мм)}$.

Объединив разработанные элементы, в AWR DE была получена схема, изображённая на рисунке 2.15, а её топология на рисунке 2.16:

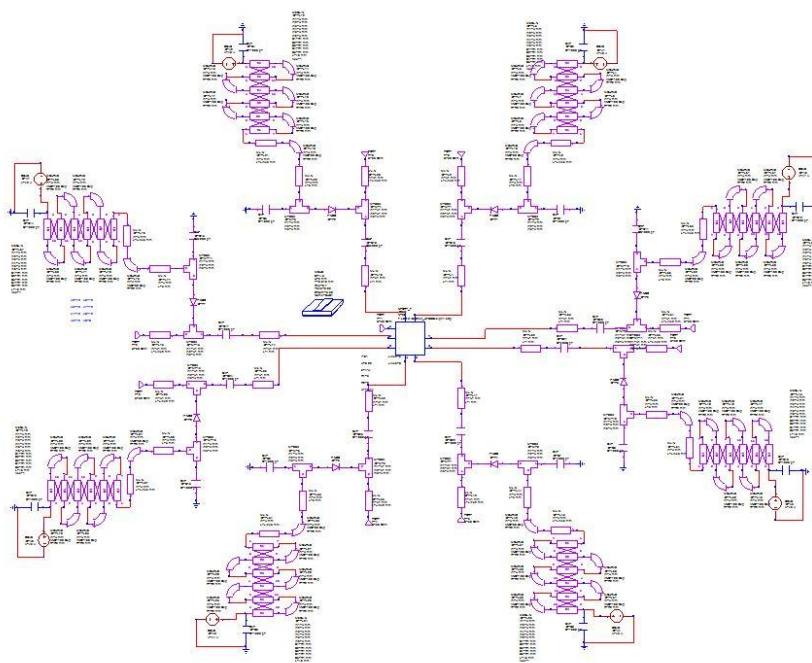


Рисунок 2.15 – Схема коммутатора

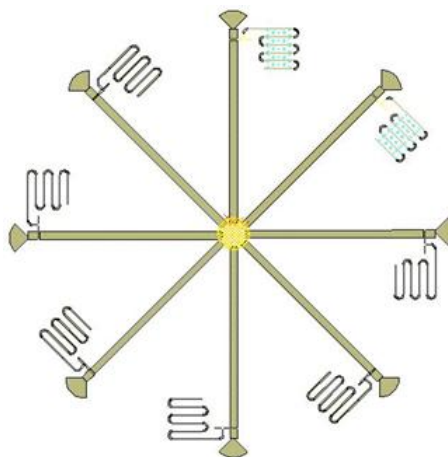


Рисунок 2.16 – Топология коммутатора

Далее приведены частотные зависимости коэффициентов передачи при одном «открытом» выходном порте и остальными «закрытыми» на рисунке 2.17, а также на рисунке 2.18 - положение точки согласования устройства на номограмме Вольперта-Смита:

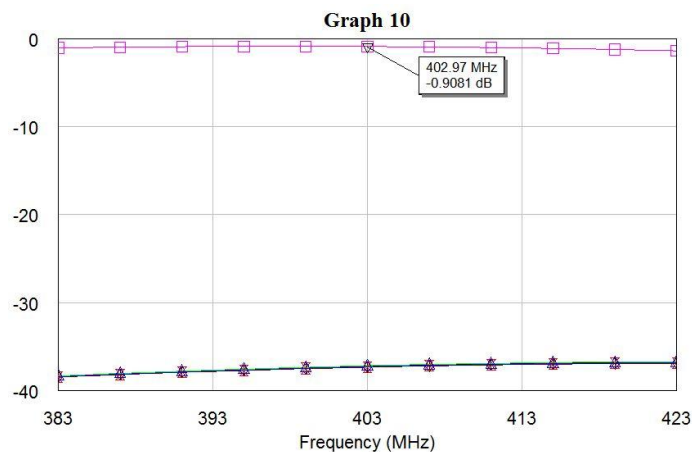


Рисунок 2.17 – Частотная зависимость коэффициентов передачи на все порты коммутатора

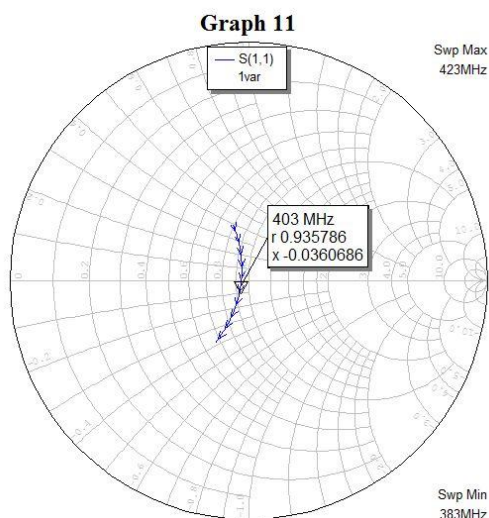


Рисунок 2.18 – Положение точки согласования на номограмме Вольперта – Смита

По характеристикам видно, что обеспечивается хорошая развязка между закрытыми портами при необходимом значении коэффициента передачи на открытый порт, а входной порт коммутатора согласован на заданной частоте.

По полученным данным можно сделать вывод, что проектирование выполнено успешно, и данную схему можно реализовать в виде

полноценного рабочего макета. В таблице 2.3 приведены размеры коммутатора.

Таблица 2.3 Размеры коммутатора

Диаметр D_2 , мм	260
Ширина линии W , мм	3,85
Длина линии L , мм	115

Перейдём к следующему этапу разработки, в котором удалось уменьшить коммутатор до минимальных размеров.

2.4 Схема коммутатора с подключенными p-n диодами в линию

Полученная ранее схема коммутатора удовлетворяет заданию, а конечные размеры удалось уменьшить по сравнению с предшествующими вариантами с 1400 мм до 260 мм, т.е. в 5,4 раза, а характеристики устройства сохранились на прежнем уровне. Но у данной схемы имеются конструктивные особенности: подключение p-n диода в линию возможно только на расстоянии $\lambda_{д}/4$ от входного порта, чтобы в данной точке подключения диода образовалось КЗ. В связи с этими обстоятельствами не представляется возможным уменьшить размеры коммутатора больше, чем это получилось сделать.

По этим причинам было решено создать второй вариант коммутатора, в котором p-n диоды всё же будут подключены в разрыв линии и будут работать на проход. Так как подаваемая мощность мала, то можно сделать предположение, что рабочий ресурс диодов останется на неизменном уровне. На рисунке 2.19 приведена промоделированная схема:

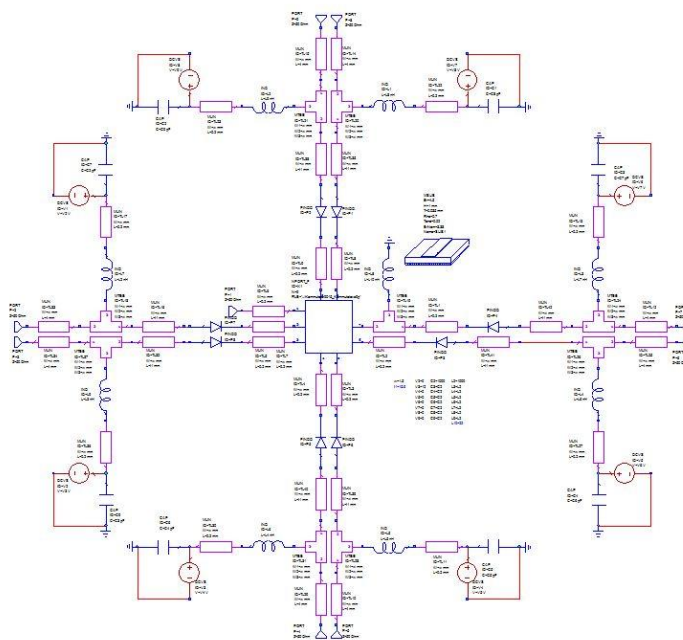


Рисунок 2.19 – Схема второго варианта коммутатора

Благодаря такому исполнению подключения линий и p-n диодов размеры коммутатора уменьшились с 260 мм до 50 мм в диаметре,

следовательно, удалось получить миниатюрные размеры устройства, сохранив характеристики устройства на прежнем уровне, что видно на рисунке 2.20.

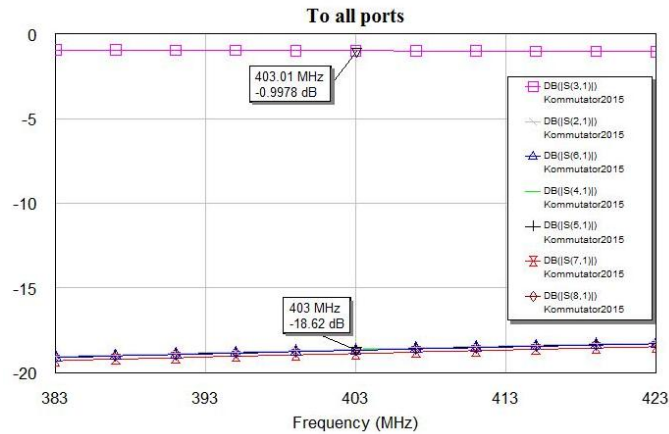


Рисунок 2.20 – Коэффициент передачи по всем портам при одном открытом выходе

Управление pin диодами осуществляется иным способом, нежели в предыдущей схеме (рисунок 2.15): теперь для открытия pin диода необходимо подать напряжение на нужный диод, в то время как на остальные напряжение не подаётся и они остаются в закрытом состоянии.

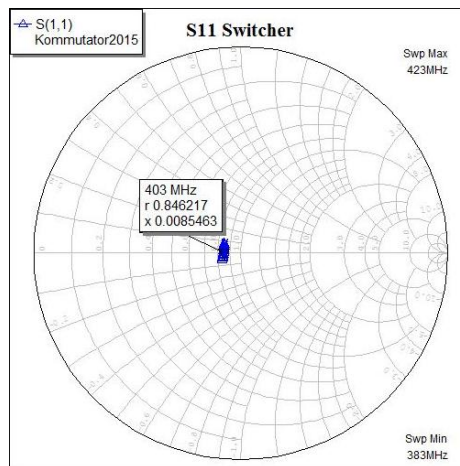


Рисунок 2.21 – Положение точки согласования на номограмме Вольперта-Смита

По номограмме (рисунок 2.21) видно, что устройство согласованно на заданной частоте.

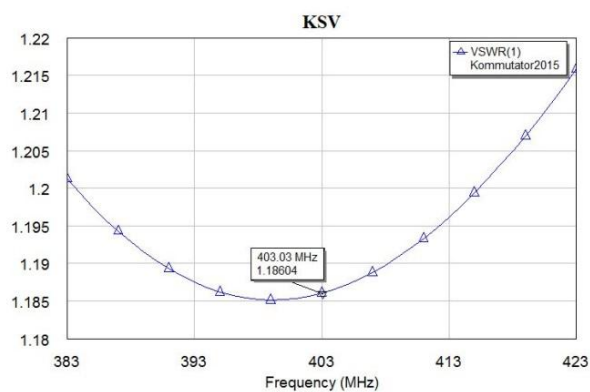


Рисунок 2.22 – Частотная зависимость КСВ по входу

Полученное значение КСВ во всём заданном диапазоне не превышает уровня 1.5.

В конечном итоге, получилось решить основные поставленные задачи по разработке коммутатора, а, значит, данный тип коммутатора является наилучшим из всех ранее предложенных и его можно реализовать в виде рабочего макета. В таблице 2.4 приведены основные размеры коммутатора.

Таблица 2.4 Размеры коммутатора

Диаметр D_2 , мм	50
Ширина линии W , мм	1,8
Длина линии L , мм	23

3. РЕЗУЛЬТАТЫ МАКЕТИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ АНТЕННЫХ СИСТЕМ

В ходе моделирования АС были определены оптимальные модели коммутаторов и антенн. В итоге, было решено провести макетирование и дальнейшее исследование трёх элементов АС: два варианта коммутатора с разными способами подачи напряжения на рiп диод и секторную антенну с восемью излучателями, но в усеченном виде: вместе восьми один сектор, т.к. они полностью идентичны.

Далее приведено подробное описание хода работы с полученными, экспериментальным путём характеристиками.

3.1 Макетирование и исследование первого варианта коммутатора

Для реализации рабочего макета использовалась технология травления металла подложки специальным раствором. По окончании процесса разработки была реализована схема, изображённая на рисунке 2.7. Для этого в работе были использованы чип-конденсаторы ёмкостью 1000 пФ, ограничительные резисторы номиналом 1 кОм и pin диоды типа KA517A-2. В результате был изготовлен макет, изображённый на рисунке 3.1:

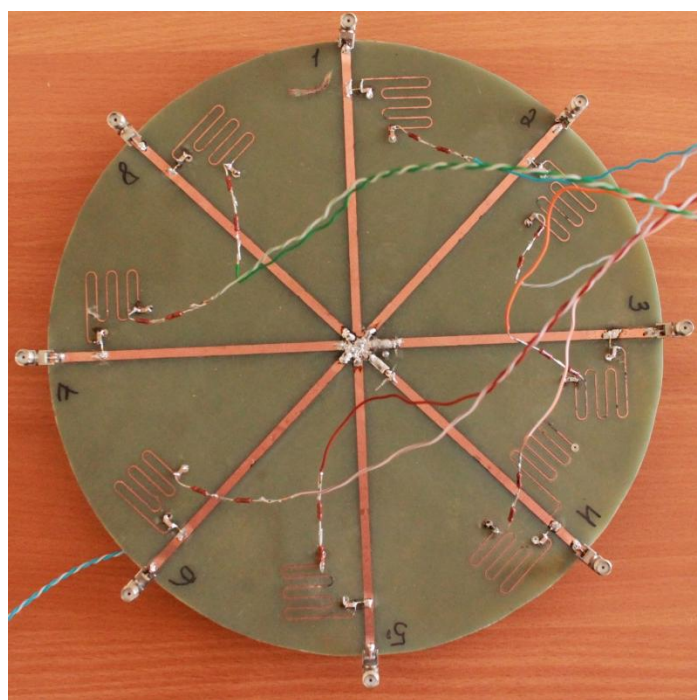


Рисунок 3.1 – Макет коммутатора

После добавления в схему всех необходимых элементов (конденсаторы, pin – диоды и т.д), проводились измерения коэффициентов передачи S_{NI} по каждому порту. Для этого на 7 диодов из 8 непрерывно подавалось постоянное напряжение U номиналом 12 В (от блока питания ЛИПС 2-10), в результате чего образовывалось КЗ на шлейфах. Благодаря этому не потребовалось нагружать все выходные порты согласованной 50-омной нагрузкой, т.к. вся мощность уходила через КЗ цепочку на «землю», что было подтверждено экспериментальным путём.

Все измерения проводились с помощью векторного анализатора цепей «OBZOR TR1300/1» [5], изображённого на рисунке 3.2 и имеющего основные характеристики, приведённые в таблице 3.1.



Рисунок 3.2 – Векторный анализатор цепей «OBZOR TR1300/1»

Таблица 3.1 Основные характеристики «OBZOR TR1300/1»

Диапазон частот, МГц	0,3-1300
Измеряемые параметры	S_{11} , S_{21}
Динамический диапазон измерения модуля коэффициента передачи, дБ	более 130
Минимальное время измерения на одной частоте, мкс	150
Диапазон регулирования выходной мощности, дБм	от -55 до +3

В таблице 3.2 приведены измеренные коэффициент передачи S_{21} и КСВ коммутатора при различных состояниях рпн диодов.

Таблица 3.2 Измеренный коэффициент передачи S_{21}

Коэффициент передачи S_{21} при одном открытом порте	Коэффициент передачи S_{21} при всех закрытых портах	КСВ на входном порте
-3,2 дБ	-17,3 дБ	1,62

По результатам можно сказать, что макетирование выполнено успешно, т.к. коммутатор выполняет свою прямую функцию. Однако коэффициент передачи на открытый порт отличается от расчётного на -2,3 дБ. Такой результат нельзя назвать удовлетворительным. Учитывая реальные потери, вносимые подложкой и диодами, можно предположить, что действительно, экспериментальный коэффициент передачи должен был

получиться несколько хуже расчётного, но после проведения небольшого исследования используемого pin диода, стало очевидно, что вносимые им потери незначительны, а именно $-0,3$ дБ. Для этого небольшого исследования был собран макет, изображённый на рисунке 3.3, в котором исследуемый pin диод был запаян в месте разрыва линии.

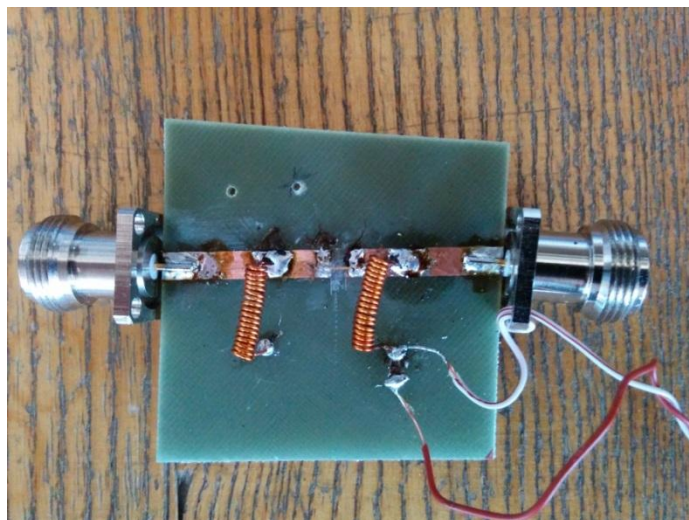


Рисунок 3.3 – Исследование используемого диода

Следующим шагом стало исследование одной линии коммутатора на вносимые ей затухания коэффициента передачи S_{21} . Для этого один из восьми шлейфов был отрезан в месте разветвления, и в точке разреза припаян разъём (рисунок 3.4):

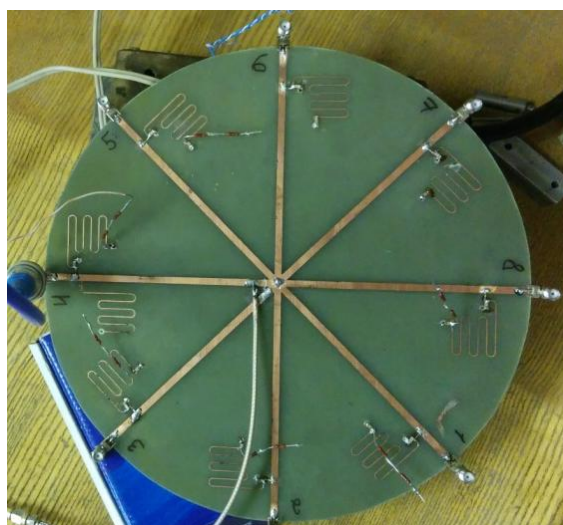


Рисунок 3.4 – Исследование шлейфа коммутатора

Полученные коэффициенты передачи при открытом и закрытом порте приведены ниже в таблице 3.3.

Таблица 3.2 Измеренный коэффициент передачи S_{21}

Коэффициент передачи S_{21} при одном открытом порте	Коэффициент передачи S_{21} при всех закрытых портах
-0,72 дБ	-17,3 дБ

Учитывая потери, вносимые диодом (-0,3 дБ), получаем, что шлейф коммутатора вносит дополнительные потери, равные -0,42 дБ.

Оба эти исследования свидетельствуют о том, что основные потери происходят в схеме разветвления типа «созвездие». Поэтому следующим шагом стало исследование схемы разветвления. Для этого 7 из 8 шлейфов были отрезаны в месте разветвления, а затем проведено измерение коэффициента передачи на единственной подключенной линии. Полученные результаты приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 Результаты измерений

Коэффициент передачи S_{21}	КСВ
-1,63 дБ	2,7

По данным результатам можно сделать следующие выводы:

- 1) схема разветвления типа «созвездие» вносит дополнительное затухание равное -0,91 дБ;
- 2) При отсоединении семи линий, произошло рассогласование устройства по входу.

Проведя комплекс исследований, можно отметить, что схема разветвления типа «созвездие» имеет некоторую собственную ёмкость, а также при отрезанных от неё шлейфах имеет короткие ответвления, образующие шлейфы ХХ, что так же эквивалентно ёмкости. Получаем, что линии передачи имеют собственную индуктивность, которая улучшает согласование устройства;

В результате получаем, что для лучшего согласования устройства по входу необходимо добавить либо катушку индуктивности, либо конденсатор непосредственно к месту разветвления всех линий.

3.2 Макетирование и исследование второго варианта коммутатора

Изготовление макета проводилось по той же технологии, которая описана в предыдущей главе, но вместо подложки высотой $H = 2$ мм использовалась подложка высотой $H = 1$ мм. По окончании процесса разработки была реализована схема, изображённая на рисунке 2.19. Для этого в работе были использованы всё те же чип-конденсаторы ёмкостью 1000 пФ, ограничительные резисторы номиналом 1 кОм и pin диоды типа КА517А-2. В итоге был получен макет, изображённый на рисунке 3.5, а на рисунке 3.6 изображён вид снизу.

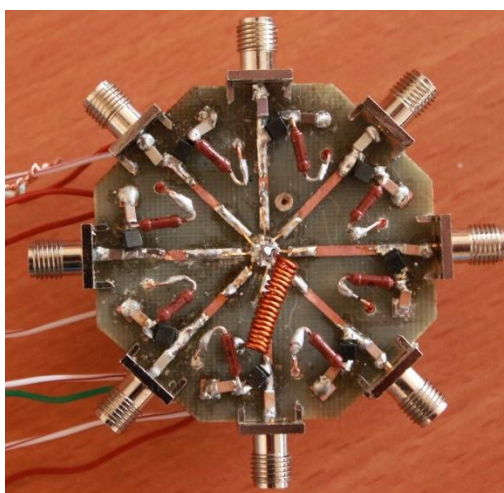


Рисунок 3.5 – Макет коммутатора

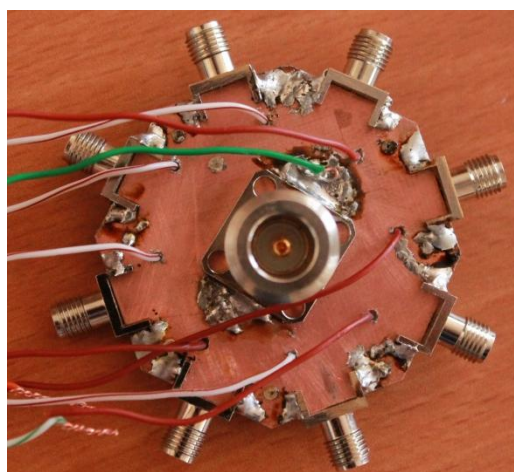


Рисунок 3.6 – Макет коммутатора вид снизу

С целью исследования зависимости коэффициента передачи и КСВ от номиналов конденсаторов, было принято решение впаять на разных шлейфах конденсаторы различных ёмкостей. В таблице 3.4 приведены номиналы использованных конденсаторов. Все измерения проводились с помощью векторного анализатора цепей «OBZOR TR1300/1», изображённого на рисунке 3.2.

Таблица 3.4 Тип и номиналы конденсаторов

Номер шлейфа	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
Блокировочный (перед разъёмом)	150 пФ	100 пФ	100 пФ	100 пФ	150 пФ	120 пФ	150 пФ	120 пФ
Конденсатор в цепочке питания	100 пФ	100 пФ	100 пФ	100 пФ	100 пФ	100 пФ	150 пФ	120 пФ

По результатам исследования можно сделать следующее заключение:

1) В качестве блокировочного конденсатора перед разъёмом желательно использовать конденсатор с номиналом 120 пФ;

Конденсатор с номиналом 100 пФ нужно использовать в цепочке питания, подключенный последовательно к катушке индуктивности.

На рисунках 3.7 и 3.8 приведены измеренные частотные зависимости коэффициента передачи S_{21} при подаче напряжения на pin диод и отсутствии напряжения на нём, соответственно.



Рисунок 3.7 – Частотная зависимость коэффициента передачи S_{21}

при подаче напряжения на pin диод



Рисунок 3.8 – Частотная зависимость коэффициента передачи S_{21} при отсутствии напряжения на pin диоде

На рисунках 3.9 и 3.10 приведены измеренные частотные зависимости коэффициента отражения S_{11} и КСВ по входу коммутатора.

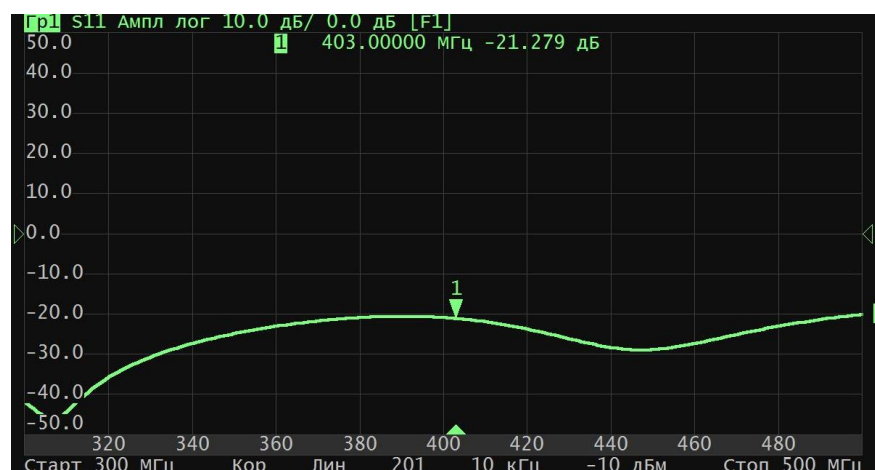


Рисунок 3.9 – Частотная зависимость коэффициента отражения S_{11}



Рисунок 3.10 – Частотная зависимость КСВ

Получили, что на заданной частоте коэффициента отражения S_{11} равен -21,28 дБ, а КСВ равен 1,11.

Далее в таблице 3.5 приведены измеренные коэффициенты передачи S_{Ni} на всех портах коммутатора.

Таблица 3.5 Измеренные коэффициенты передачи S_{Ni}

Коэффициент передачи	S_{21}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}	S_{71}	S_{81}	S_{91}
S_{21} , дБ при $U = 12$ В	-1,23	-1,16	-1,1	-1,04	-0,94	-1,1	-1,03	-1,28
S_{21} , дБ при $U = 0$ В	-26	-25	-24,3	-25,06	-24,4	-26	-24	-24

Полученные характеристики имеют погрешность измерения $\pm(0,1 \div 0,2)$ дБ. Данная погрешность была замечена во время снятия характеристик устройства. Возможные причины: изношенность кабелей подключаемых к выходам и входу коммутатора и некачественная пайка разъёмов.

На рисунке 3.11 изображена точка согласования коммутатора по входу на номограмме Вольперта-Смита.

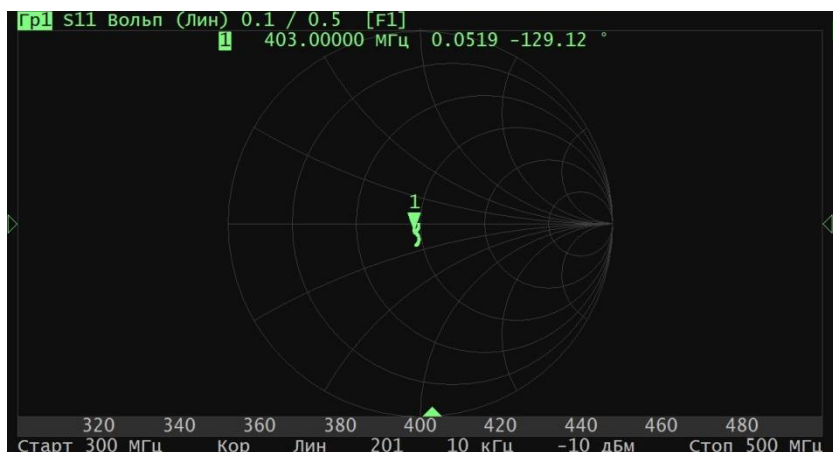


Рисунок 3.11 – Положение точки согласование на номограмме Вольперта-Смита

По приведённым данным можно сделать вывод, что полученные характеристики коммутатора полностью совпадают с расчётными значениями. При использовании описанных элементов, вряд ли, возможно получить характеристики, значительно, лучше имеющихся.

3.3 Макетирование и исследование секторной антенны

В соответствии с полученными размерами модели из алюминиевых листов был собран макет одного угла секторной антенны, изображённый на рисунке 3.12.



Рисунок 3.12 – Макет угла секторной антенны

Затем, с помощью векторного анализатора цепей «OBZOR TR1300/1», изображённого на рисунке 3.2 была снята ДН по значениям коэффициента передачи в зависимости от угла поворота антенны. Для этого угол макет антенны был установлен на ПУ, как показано на рисунке 3.13.



Рисунок 3.13 – Установка антенны на ПУ

По формуле 3.1 была определена дальняя зона антенны:

$$r \geq (2 \cdot D^2) / \lambda = 886 \text{ мм}, \quad (3.1)$$

где r – расстояние от фазового центра антенны; $D = 574$ мм – максимальный габаритный размер антенны (размер апертуры); λ - длина волны в свободном пространстве.

В соответствии с полученным результатом проводилось снятие ДН антенны, как это показано на рисунке 3.14. На расстоянии 1,5-2 метров была установлена антенна типа волновой канал, которая излучала в направлении установленного макета на ПУ. Затем, изменяя угол поворота уголкового антенны, были сняты значения коэффициента передачи S_{21} ,



Рисунок 3.14 – Измерение ДН антенны

Измеренные значения коэффициента передачи S_{21} были отнормированы по формуле 3.2 и по полученным результатам построена ДН антенны (рисунок 3.15).

$$F(\theta) = \sqrt{\frac{U(\theta)}{U_{\max}}}, \quad (3.2)$$

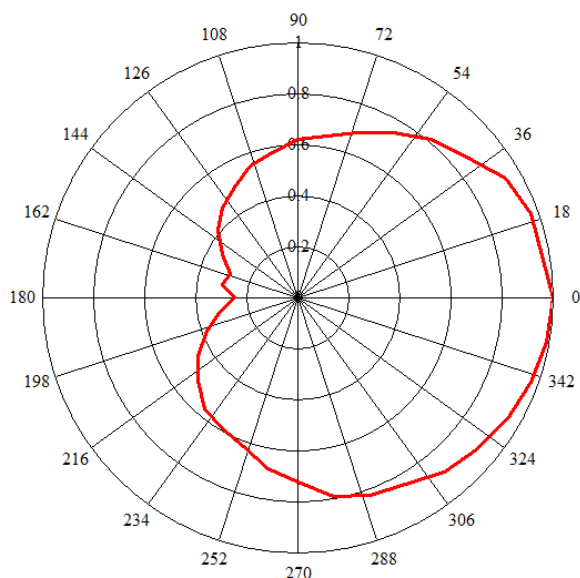


Рисунок 3.15 – ДН макета уголковой антенны

Форма ДН, полученная экспериментальным путём, соответствует форме ДН (рисунок 1.2), полученной при моделировании антенны. К тому же стоит учитывать условия, в которых проводилось измерение ДН антенны. Для получения точной формы ДН измерения необходимо проводить в безэховой камере, но в связи с её загруженностью и востребованностью измерения проводились доступным методом.

Анализируя экспериментальные данные, можно сделать вывод, что макет сконструирован правильно и соответствует расчётным данным, в чём можно убедиться по результатам, приведённым далее.

На рисунке 3.16 изображен график частотной зависимости коэффициента отражения S_{11} .

По результатам измерений получены следующие значения:

- 1) коэффициент отражения S_{11} равен -28,993 дБ;
- 2) КСВ антенны равен 1,073.

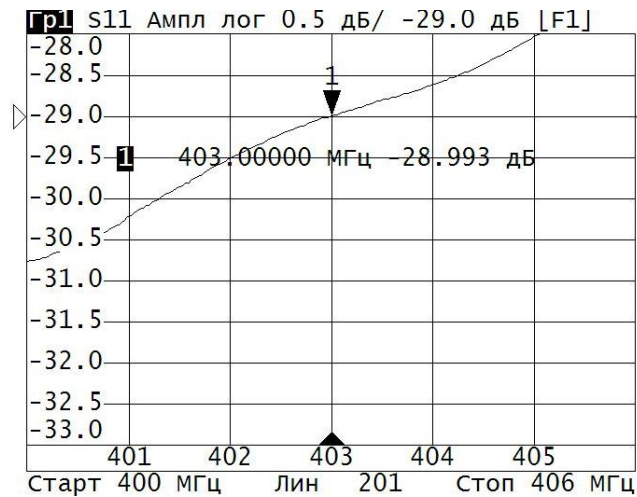


Рисунок 3.16 – График частотной зависимости коэффициента отражения S_{11}

На рисунке 3.17 изображен график частотной зависимости КСВ антенны.

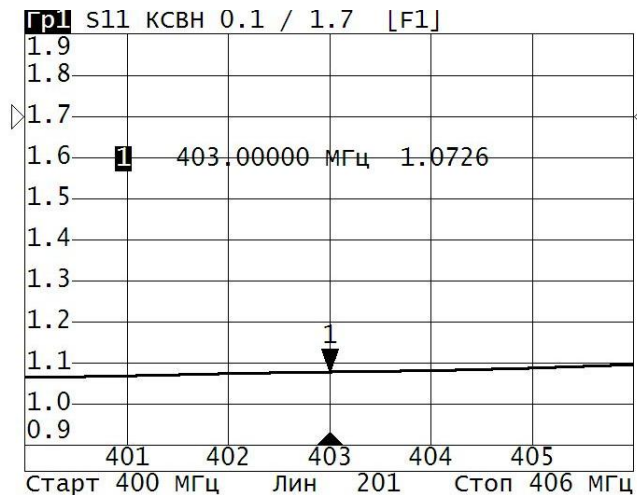


Рисунок 3.17 – График частотной зависимости КСВ антенны

На рисунке 3.18 изображено положение точки согласования антенны по входу на номограмме Вольперта-Смита.

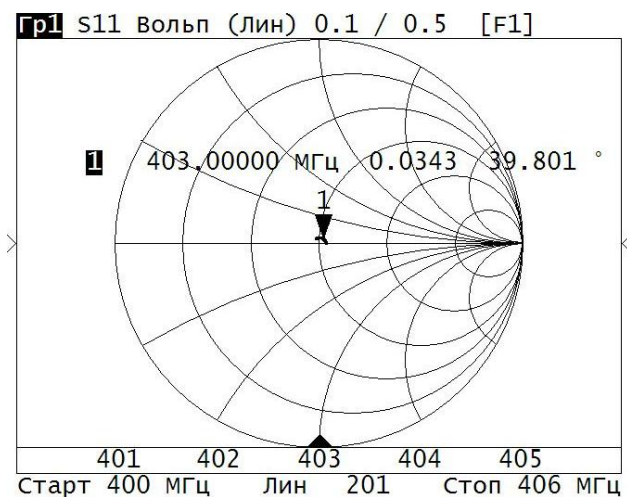


Рисунок 3.18 – Положение точки согласования антенны по входу на номограмме Вольперта-Смита

По номограмме (рисунок 3.18) видно, что устройство согласованно на заданной частоте.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной работы были разработаны две модели антенн с электронным сканированием пространства в горизонтальной плоскости. Удалось обеспечить на требуемом уровне (≥ -2 дБ) провал ДН в равносигнальном направлении. Был изготовлен макет секторной антенны в виде одного из восьми секторов. Сняты основные характеристики антенны. Результаты макетирования и моделирования, в целом, схожи. Получить макет кольцевой ФАР не удалось из-за задержек при проектировании АС.

Также была разработана квадрифилярная антенна для стабилизации связи с метеорологическим зондом при прохождении последней области над АС, в направлении которой изначально образовывалась слепая зона.

К предложенным антеннам разработано два варианта коммутатора. По результатам расчётов проведено макетирование. Получены все основные характеристики устройств и обоснован выбор одно из двух вариантов. Однако оба варианта, в основном, ориентированы на работу в составе АС с секторной антенной, т.к. в них производится коммутация одного из восьми каналов. А для кольцевой ФАР требуется коммутация сразу четырёх каналов. Чтобы обеспечить работу конечных макетов в составе с данной ФАР необходимо дополнительно провести комплекс мер по согласованию коммутаторов.

В процессе работы были освоены навыки работы с пакетами AWR DE, Ansys HFSS и способы измерения характеристик микроволновых устройств.

Поставленное задание в рамках данной диссертации выполнено успешно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/108667/>Метеорологическая станция
2. http://www.ntpo.com/patents_electronics/electronics_4/electronics_322.shtml
3. Проектирование антенных систем СВЧ. Методические указания и задания к курсовому проекту для студентов всех форм обучения радиотехнических специальностей. Наймушин М.П., Панченко Б.А., Шабунин С.Н., УГТУ-УПИ, 1993
4. <http://www.univer.omsk.su/omsk/Edu/Rusanova/tetrangl.htm><http://www.planar.chel.ru/Products/Measurement%20instrument/tr1300>
5. Устройства СВЧ и антенны / Под ред. Д.И. Воскресенского Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Радиотехника, 2006. – 376 с.: ил.
6. Техническая электродинамика. Учебное пособие для вузов Ю.В. Пименов, В.И. Вольман, А.Д. Муравцов, 2000. 536 с.
7. Антенны. Учебник для студентов радиотехнических специальностей вузов. Г.Т. Марков, Д.М. Сазонов, 1970. 528 с.