

Ахметов Р.Р., Лужковская В.А., Седышев Э.Ю.
Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Спирально-рупорная проволочная структура

Представлены результаты исследования рупорных и спиральных антенных структур диапазона СВЧ. В работе промоделированы проволочный рупор и проволочная спираль. Основной задачей является расчет обычного рупора и спирали, с их последующей перфорацией до проволочной основы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что рупорная антенна и спираль в проволочном эквиваленте каждая, а также объединённые в общую спирально-рупорную проволочную структуру эффективно работают на СВЧ.

Ключевые слова: Микроволновые технологии, СВЧ, рупорная антенна, проволочный рупор, спиральная антенна, проволочная спираль, спирально-рупорная проволочная структура.

Значение приема-передачи СВЧ сигнала в свободном пространстве определяется неплохими характеристиками прохождения и возможностью создания эффективных антенных систем. В настоящее время лидерами среди антенн диапазона СВЧ являются рупорные и спиральные антенны, одни дают неплохую направленность, другие прекрасно работают в широких диапазонах. Мы попробовали объединить эти две антенны в одну.

В ходе работы использовалось компьютерное моделирование в программе MMANA-GAL BASIC, которая отлично себя зарекомендовала и полностью апробирована. «Базовая версия MMANA-GAL свободна для личного, некоммерческого использования» - данная информация размещена на официальном сайте программы <http://gal-ana.de/basicmm/ru/>.

На рисунке 1 представлена модель основной рупорной антенны, смоделированной в программе, указаны её размеры.

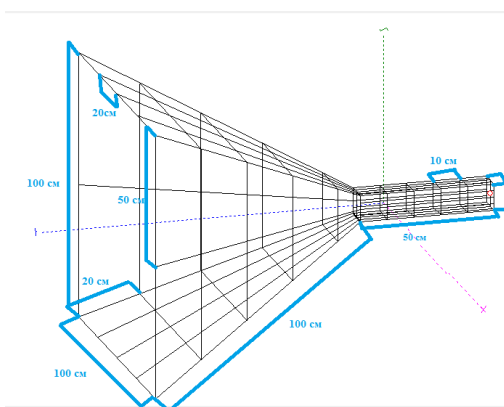


Рис.1. Модель антенны №1

Проведя моделирование модели №1 на частоте 500МГц в «свободном пространстве», программа дает следующие характеристики и диаграммы направленности для антенны №1 (рисунок 2):

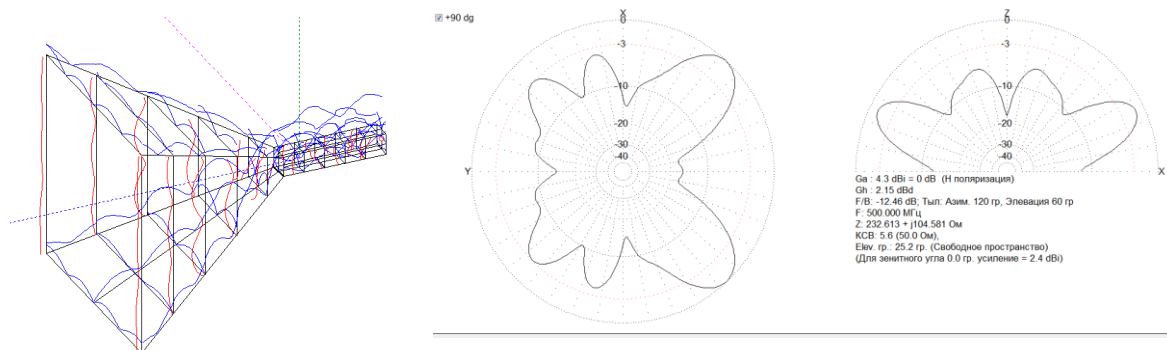


Рис.2. Электродинамическое моделирование для антенны №1.

По полученным диаграммам видно, что волна не выходит «лучом» из рупора и данную модель необходимо изменить. Обратив внимание на то, что волновод не играет большой роли при макетировании антенны и не влияет на полученные результаты, было решено убрать его в дальнейшем макетировании, а рассматривать и перфорировать только сам рупор. Так же, заметив, что токи не текут по боковым стенкам рупора, а «растекаются» по верхним и нижним проводникам, было решено убрать их полностью, оставив только направленный проволочный каркас сверху и снизу, и смоделировать антенну №2 (рисунок 3), которая будет представлять собой оптимальный рупор, рассчитанный на рабочий диапазон 3-5 ГГц. Все эти замечания полностью согласуются с характером распределения электромагнитных полей в волноводе.

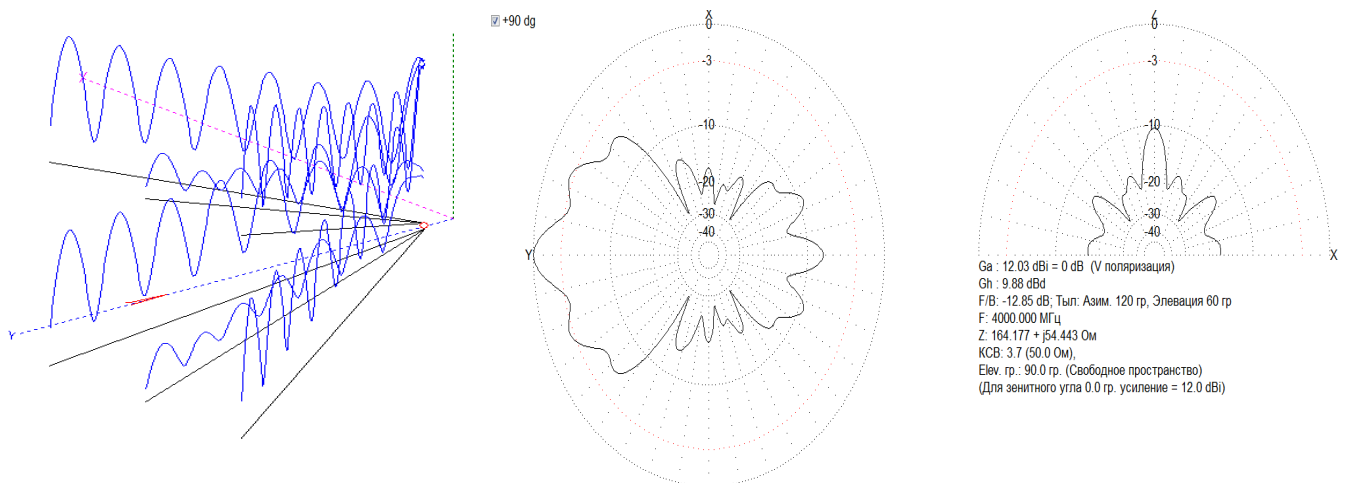


Рис.3. Электродинамическое моделирование для антенны №2.

Для перехода к спирально-рупорной антенне, решено было модифицировать предложенный выше оптимальный прямоугольный рупор и сделать его конусообразно-круговым, с сохранением его оптимальных геометрических характеристик. Конический рупор работает с волной H_{11} , поэтому мы учли расположение источника питания и дали некоторую направленность для питающего тока.

Данная модель проволочного рупора, распределение токов и его диаграмма направленности представлены на рисунке 4:

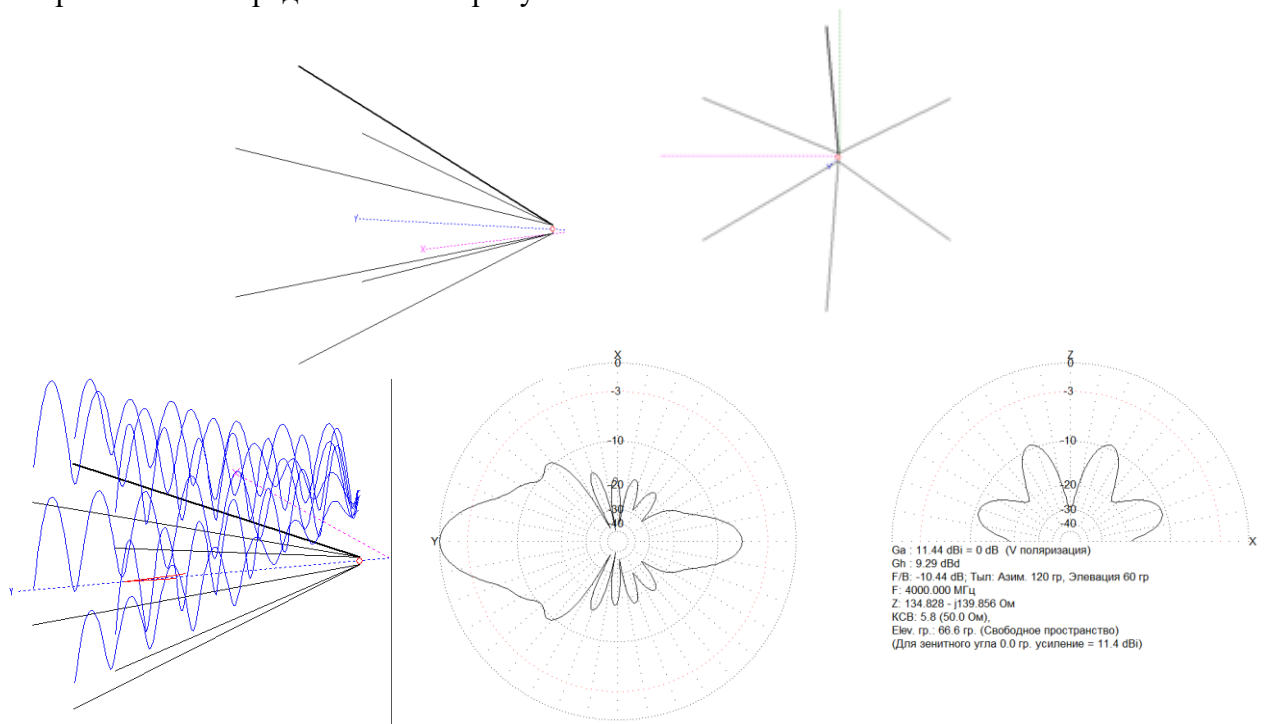


Рис.4. Электродинамическое моделирование для антенны №3.

Сразу же отметим, что работоспособность этой модели была проверена экспериментально. Исследование показало полную работоспособность структуры.



Рис.5. Экспериментальное исследование рупорного эквивалента.

Модель перфорированной рупорной антенны до проволочной структуры работает. Мы убедились также, что при моделировании пирамидальной антенны наибольший ток протекает по противоположным основаниям антенны, поэтому при выборе количества и расположения проволок – наибольшую эффективность и излучаемую мощность антенна имеет при продольном расположении проволочной структуры. При переходе к конической структуре все вышесказанное сохраняется.

Теперь попытаемся проанализировать спиральные структуры и найти возможный способ их интеграции с конусом. Спиральная антенна фактически представляет собой нерегулярную излучающую линию и является антенной бегущей волны.

Однозаходная и двухзаходная арифметические планарные спирали имеют изначально отличные друг от друга характеристики. При проведении электродинамического моделирования были проанализированы предлагаемые арифметические плоские двухзаходная и однозаходная спирали, рассчитанные на рабочий диапазон 3-5 ГГц. Коэффициент развёртывания спирали был выбран равным 0.001. Результат превзошел все ожидания: однозаходная спираль при определенном выборе места питания полностью становится идентичной двухзаходной. Таким образом, интегрировать с рупором мы можем спираль с одним направлением развертки, варьируя количество ветвей.

Путем изменения геометрии однозаходной арифметической спирали, длины питающего провода, была получена схожая диаграмма направленности (рисунок 5) с двухзаходной спиралью, что фактически позволяет отказаться от двухзаходных структур и в других случаях.

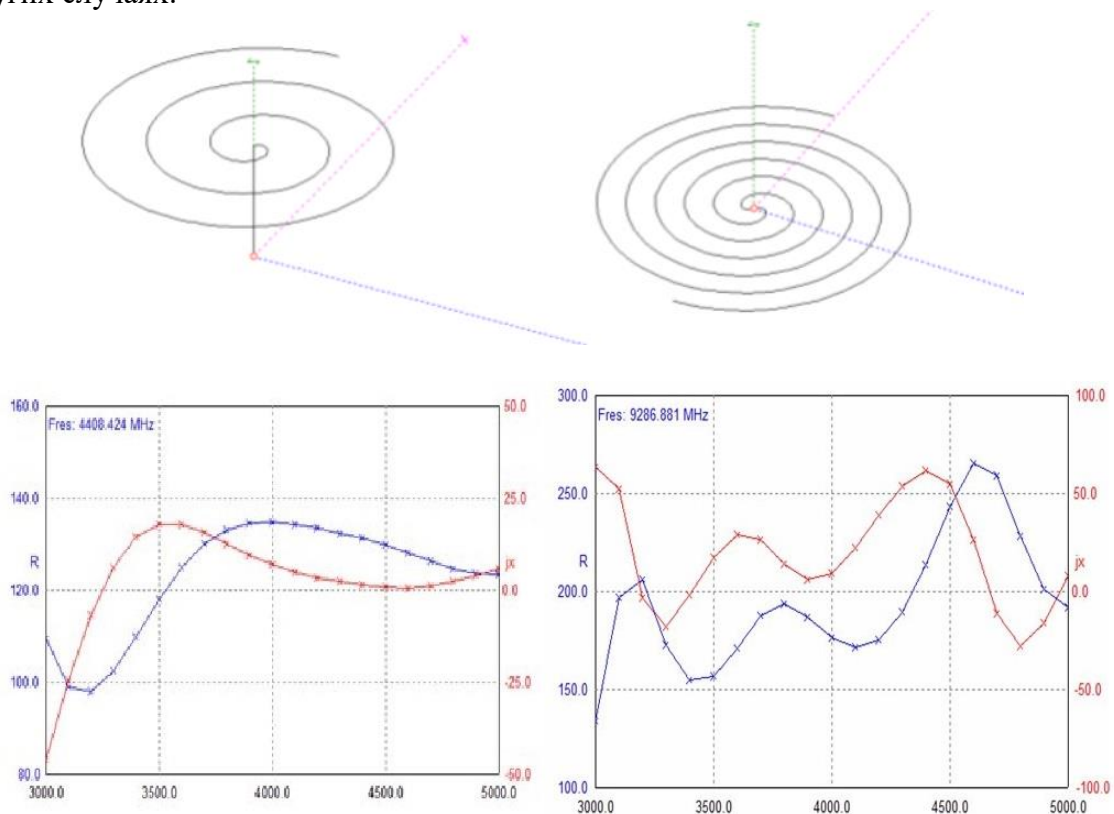


Рис.5. Планарные однозаходная и двухзаходная спиральные антенны, их импеданс.

Импеданс однозаходной и двухзаходной спиральных антенн очень близок, особенно в реактивной составляющей, можно предположить, что роль второй ветви в «спиральной

линии» берет на себя «земля». Смена точек питания приводит к полному изменению характеристики импеданса однозаходной спирали. В случае двухзаходной спирали аналогичное изменение может быть получено простым смещением источника вправо или влево от центра. Модели электродинамической трансформации приведены ниже на рисунке 6.

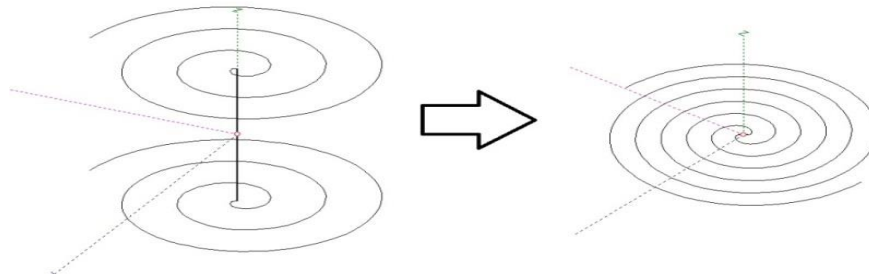


Рис. 6. Эквивалентность моделей двухзаходной и однозаходной спиралей.

При моделировании стало ясно, что точка питания полностью определяет импеданс любой спиральной антенны, которая представляет собой некоторую разновидность линии. При этом точка питания антенны имеет хорошие конструктивные возможности для вариаций. Считается, что входной импеданс спиральной антенны чисто активный и равен 180 Ом. Для уменьшения затухания и вероятности рассогласования на входе спирали необходимо, чтобы ширина питающей линии совпадала с шириной полоска спирали. Исходя из ширины рукавов структуры, возможно, определить оптимальные точки запитки спирали – оптимальный зазор между витками.

На основе полученных выше результатов моделирования и расчета рупорных и спиральных структур, мы попытались объединить данные структуры в единую спирально-рупорную проволочную структуру и произвести моделирование. Для моделирования, за основу был взят рассчитанный и приведенный на рисунке 4 конусообразно-круговой оптимальный рупор, из концов которого выходит 6-тизаходная спираль. Предложенная структура и ее диаграмма направленности, смоделированные в программе, представлены на рисунке 7:

Частота 10000 МГц

Земля

- Свободное пространство
- Идеальная
- Реальная

Высота 0.00 м

Материал без потерь

ДЛИНА ВОЛНЫ = 0.030 (m)
 ВСЕГО ТОЧЕК ДЛЯ РАСЧЕТА = 1515
 ЗАПОЛНЕНИЕ МАТРИЦ...
 РАСЧЕТ МАТРИЦ...
 ТОЧКА U (В) I (мА) Z (Ом) KCB
 w65c 1.00+j0.00 5.02+j2.68 154.99-j82.90 1.69
 РАСЧЕТ ТОКОВ...
 РАСЧЕТ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ...
 РАСЧЕТ АНТЕННЫ УСПЕШНО ЗАВЕРШЕН
 32.97 sec

№.	F (МГц)	R (Ом)	jX (Ом)	KCB 159	Gh (dBd)	Ga (dBi)	F/B (dB)	Elev(rp)	Земля	Высота	Поляр.
10	10000.0	155.0	-82.9	1.69	6.92	9.07	-6.94	61.8	Своб.	---	гориз.
9	9000.0	164.3	-79.55	1.63	8.12	10.27	-3.45	90.0	Своб.	---	гориз.
8	8000.0	177.4	-73.89	1.57	9.1	11.25	-12.32	90.0	Своб.	---	гориз.
7	7000.0	177.5	-65.3	1.49	9.54	11.69	-5.92	89.0	Своб.	---	гориз.
6	6000.0	181.4	-45.85	1.35	10.04	12.19	-2.38	89.9	Своб.	---	гориз.
5	1000.0	114.5	94.5	2.13	3.4	5.55	-6.4	87.8	Своб.	---	гориз.
4	2000.0	136.1	40.76	1.37	4.38	6.53	-10.35	65.9	Своб.	---	верт.
3	3000.0	139.4	-26.74	1.25	6.64	8.79	-10.16	89.0	Своб.	---	гориз.
2	5000.0	175.3	-37.59	1.28	8.29	10.44	-11.41	89.4	Своб.	---	гориз.
1	4000.0	170.5	-39.37	1.28	7.45	9.6	-1.18	89.8	Своб.	---	верт.

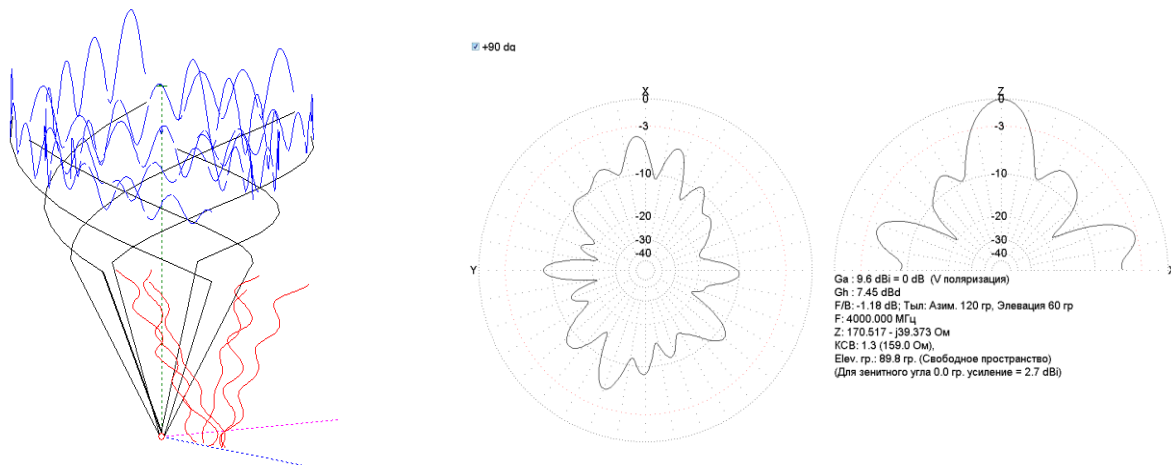


Рис. 7. Спирально-рупорная структура и ее диаграмма направленности.

Из результатов моделирования видно, что предложенная структура - рабочая, она представляет из себя широкополосную антенну с КСВН порядка 2 в дециметровом диапазоне.

Целью работы было не столько создание гибрида рупорной и спиральной антенн, а также их моделирование, сколько желание понять влияния той или иной части структуры на излучение. Токи, распространяемые по всей структуре, а также уточнение специфики распространения самой волны в проволочной структуре позволяют сделать вывод о том, что конструктивная гибридизация может приводить к улучшению тех или иных свойств структуры в целом. **Так полученная структура имеет довольно широкий частотный диапазон, свойственный спиральям и довольно выраженную направленность, присущую рупорным антеннам.**

Библиографический список

1. Бочаров Е.И., Ветров В.В., Седышев Э.Ю., Усатова И.А. Планарные излучатели объемных интегральных схем СВЧ; Всероссийская конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ» 3-6 июня 2013. СПб, 2013.
2. Артёмова Т.К., Фомичёв Н.И. Антенны. Ярославль, 2007.
3. А.В. Файт, Э.Ю. Седышев. Исследование спиральных антенн с помощью низкочастотной проволочной модели// Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». № 64. 20–24 февраля 2012 года: материалы. – СПб.: Издательство СПбГУТ, 2012–с. 377-379
4. Фальковский О.И. Техническая электродинамика. СПб, 2009
5. Кюн Р. Микроволновые антенны (Антенны сверхвысоких частот). Ленинград, 1967