

## Частотные свойства древовидных фрактальных антенн.

Р.А. Алли, Э.Ю. Седышев

СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

**Аннотация:** в данной работе исследовались частотные свойства Y - образной древовидной фрактальной антенны второго и третьего порядка. Было проведено компьютерное моделирование методом моментов в диапазоне от 1 до 12 ГГц. Проведено сравнение зависимостей коэффициента стоячей волны от геометрических размеров антенны. Определены структуры с наилучшими характеристиками. Исследована зависимость частотных свойств антенны от её электрической длины. Исследовано влияние дополнительных итераций на частотные свойства антенны.

**Ключевые слова:** фрактальные антенны, многочастотные антенны, древовидные антенны.

### 1. Введение

Фрактальные антенны – это антенны, представляющие собой самоподобную геометрическую фигуру. Фрактальные антенные структуры способны принимать сигнал на нескольких частотах одновременно, при этом обладая меньшими габаритами, чем обычные. Это делает их применение целесообразным в носимых устройствах, где важно максимально эффективное использование пространства внутри корпуса [2].

Частным случаем фрактальных антенн являются древовидные фрактальные антенны [2]. Благодаря хорошей реализации принципа сложения токов в данной структуре, становится возможным получить хороший коэффициент усиления на нескольких частотах одновременно [1 – 4]. Это позволяет использовать такой тип антенн в многочастотных детекторах, широкополосных приёмо-передающих устройствах и ректенных преобразователях – устройствах для преобразования электромагнитной энергии в постоянный ток.

Целью данной работы является изучение зависимости частотных свойств Y образной фрактальной антенны от геометрических параметров.

### 2. Исследование соотношений сторон

Было исследовано 3 конфигурации. Модель 1 рассчитывалась как изготовленная из медной проволоки диаметром 1 мм. Длина ствола – 103 мм. Угол между ветвями 68 градусов. Длина каждого из плечей – 30 мм. Модель 2 – Ствол из латунной трубки, диаметром 2 мм и длиной 100 мм (с учётом разъёма измерительного стенда). Плечи из медной проволоки, диаметром 1 мм. Все расчёты проведены методом моментов в программе MMANNA-GAL.

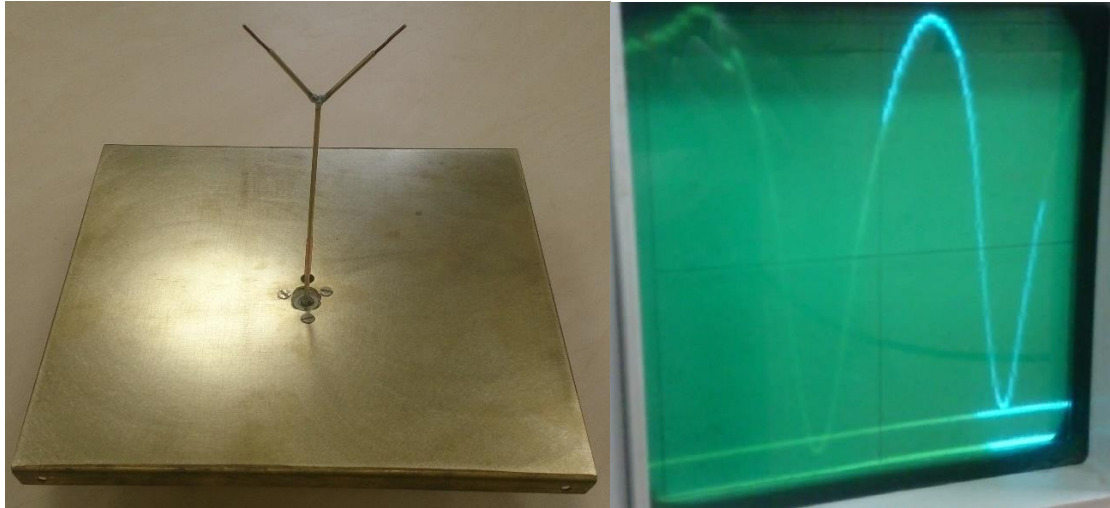


**Рисунок 1.** Зависимость коэффициента стоячей волны от частоты для древовидных антенн с разными геометрическими параметрами. Модель 1 – целиком изготовлен из медной проволоки диаметром 1 мм. Длина ствола – 103 мм (с учётом разъёма измерительного стенда). Длина каждого из плечей – 30 мм. Модель 2 – Ствол из латунной трубки, диаметром 2 мм и длиной 100 мм (с учётом разъёма измерительного стенда). Плечи из медной проволоки, диаметром 1 мм. Угол между плечами 82 градуса. Модель 3 - медная антенна длиной ствола 100 мм и диаметром 2 мм. Длина плечей – 20 мм, диаметр сечения плечей – 1 мм. Угол между плечами – 60 градусов.

По параметрам компьютерных моделей 1 и 2 были изготовлены макеты, представленные на рисунках 2 и 3.



**Рисунок 2.** Макет 1 и КСВ, полученный в результате измерений макета 1 на частоте 2 – 4 ГГц.



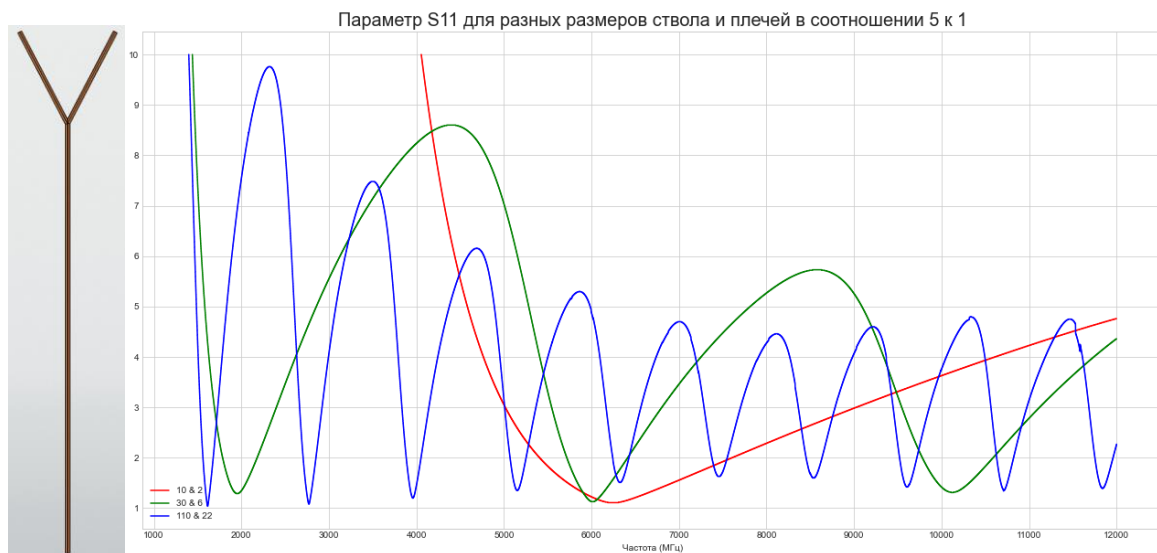
**Рисунок 3.** Макет 2 и КСВ, полученный в результате измерений макета 2 на частоте 2 – 4 ГГц.

Проведено измерение характеристик изготовленных макетов в диапазоне от 2 до 4 ГГц. Результаты измерений совпадают с теоретическими расчётами.

Согласно результатам компьютерного моделирования, на частоте от 2 до 4 ГГц наилучшие характеристики показала модель 3. Длина ветви этой антенны составила 1/5 от длины ветви ствола, а угол между ветвями – 60 градусов, при этом диаметр ствола был в двое больше диаметра ветвей. Было решено провести моделирование антенн разных размеров с такими параметрами.

### 3. Исследование влияния размера на частотные свойства

Были проведены исследования зависимости характеристик от размера структуры с наилучшими параметрами – с соотношением длины ствола к длине плеча 5 к 1.



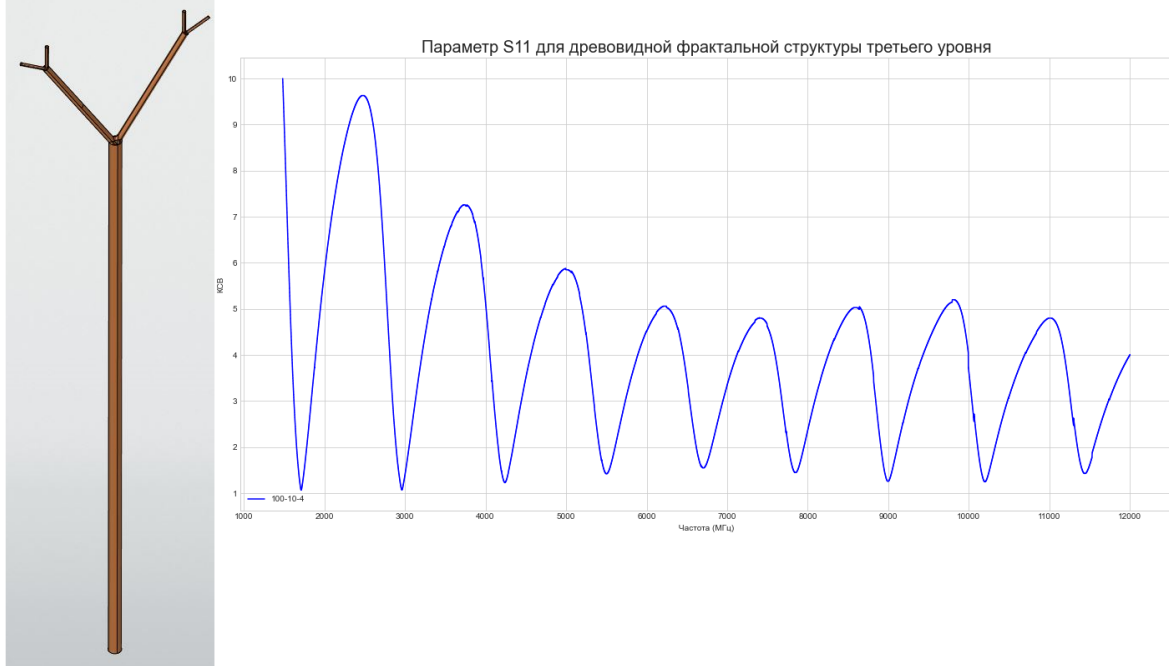
**Рисунок 4.** Слева: 3D модель, отображающая соотношение длин ветвей и ствола для исследуемых конфигураций. На графике: 10 & 2 – характеристики антенны с длиной ствола 10 мм и длиной плеча 2 мм. 30 & 6 – характеристики антенны с длиной ствола 30 мм и длиной плеча 6 мм. 110 & 22 – характеристики антенны с длиной ствола 110 мм и длиной плеча 22 мм.

Количество резонансных частот напрямую зависит от геометрических размеров

антенны. Чем больше размер – тем больше резонансов.

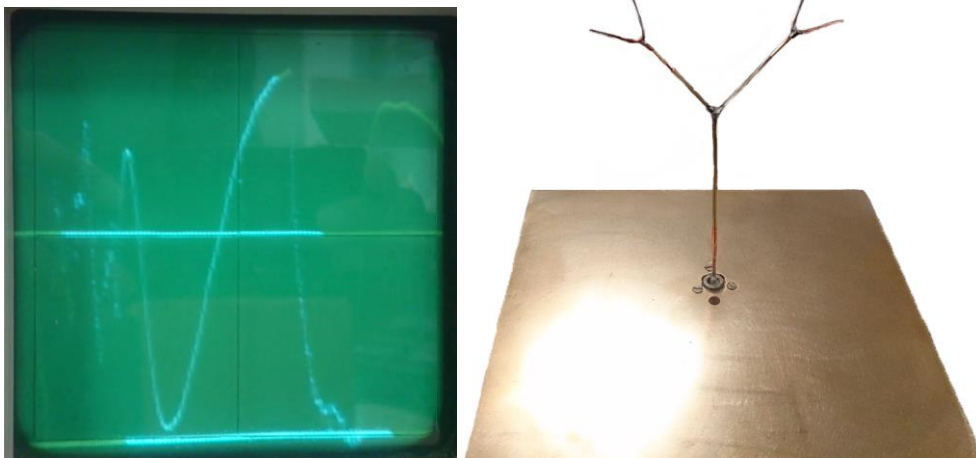
#### 4. Исследование частотных свойств древовидной фрактальной структуры третьего порядка

Выдвинута гипотеза, что при добавлении следующей итерации КСВ на верхних резонансных частотах может уменьшаться. Для её экспериментальной проверки проведено компьютерное моделирование структуры ниже.



**Рисунок 4.** 3D модель древовидной фрактальной антенны третьего порядка и результаты расчёта зависимости КСВ от частоты для неё. Минимумы соответствуют резонансным частотам. Параметры антенны: Материал: медь. Диаметр ствола: 2 мм. Высота ствола 100 мм. Диаметр больших ветвей: 1 мм. Длина больших ветвей: 10 мм. Угол между большими ветвями: 60 градусов. Диаметр малых ветвей: 0,5 мм. Длина малых ветвей: 4 мм. Угол между малыми ветвями: 60 градусов.

Для проверки результатов компьютерного моделирования был изготовлен макет и сняты его характеристики



**Рисунок 5.** Макет фрактальной древовидной антенны 3-го порядка и результаты измерений на частоте 1 – 2 ГГц. На частоте 1350 МГц обнаружен дополнительный резонанс. Явление могло быть вызвано поворотом одного из каскадов третьего порядка.

## 5. Заключение

В ходе исследования было проведено моделирование и макетирование древовидных фрактальных Y образных антенн. Получена сходимость результатов моделирования и измерений.

С помощью компьютерного моделирования установлено, что количество резонансных частот фрактальной антенны напрямую зависит от её геометрических размеров – чем больше антенна, тем больше у неё резонансов.

Также установлено, что добавление третьей итерации не только улучшает резонансные характеристики, но и добавляет степени свободы антенне, позволяя получать дополнительные резонансы. Требуется дальнейшее изучение данного явления.

Дальнейшее развитие работы планируется в направлении исследования свойств древовидной фрактальной структуры третьего порядка, а также применении разработанной антенны в многочастотном ректенном преобразователе.

### Список литературы

1. Воскресенский Д. И. Антенны и устройства СВЧ. М.: Советское радио, 1972. 320 с.
2. Гаранин. Т.: Фрактальные антенны и линии задержки. 2019. 150 с. <http://crit1.ru/fractal/> (дата обращения 23.01.2021)
3. Жуков В.Б.: Теория синтеза и оптимизации антенн. СПб.: Элмор, 2001. 164 с.
4. Фальковский О. И.: Техническая электродинамика: учебник. 2-е изд., СПб.: Лань, 2009. — 432 с.