

Широкополосный симметричный двухконтурный излучатель дипольного типа

А. С. Разумихин, К.С. Старовойтов, К. А. Лайко, Ю. О. Филимонова

Новосибирский Государственный технический университет «НГТУ НЭТИ»

Аннотация: в данной работе промоделирована и изготовлена конструкция симметричного вибраторного излучателя в печатном исполнении сантиметрового диапазона. Описана эквивалентная схема двухконтурной структуры излучателя. Рассмотренная и изготовленная конструкция излучателя, выполнена на диэлектрической подложке Rogers RO4003C™ толщиной 0.75 мм и приведены результаты электромагнитного моделирования. Симметричный вибратор настроен на среднюю частоту 1.1 ГГц и обеспечивает относительную полосу частот более 24% по уровню коэффициента стоячей волны менее двух. Широкая рабочая полоса достигается за счет введения двухконтурной системы. Приводятся топология, а также характеристики согласования и направленности излучателя. Антенна промоделирована в программе трехмерного электродинамического моделирования CST Microwave studio. Измерения Коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВн) опытного образца производились с помощью векторного анализатора цепей Обзор-TR1300/1.

Ключевые слова: симметричный диполь; печатный симметричный вибраторный излучатель; диаграмма направленности, коэффициент стоячей волны по напряжению

1. Введение

Актуальность разработки антенн в печатном исполнении обоснована возрастающими требованиями к компактности устройств. К основным достоинствам этих антенн относят их плоскую форму, компактные размеры. Предложенная антенна, предназначена для работы в составе цифровых, активных фазированных антенных решёток (ФАР), в качестве излучателя. К современным цифровым ФАР предъявляют ряд требований, среди которых наиболее важным является широкая полоса рабочих частот. Поэтому в области связи, актуальна как никогда, задача конструирования сверхширокополосных излучателей ФАР.

2. Конструкция, моделирование и результаты моделирования

Ранее в работе [1] была рассмотрена и описана конструкция двухконтурной вибраторной антенны [2] в печатном исполнении. В данном варианте исполнения один из контуров представляет собой двухпроводную симметричную линию с лицевой связью, которая образует короткозамкнутый шлейф [3,4,5], а второй контур образован плечами вибратора. Эквивалентная схема трехконтурного вибраторного излучателя имеет следующий вид: (рисунок 1).

В зависимости от настройки этих контуров, возможно получить полосу частот до 50% по уровню КСВн менее двух.

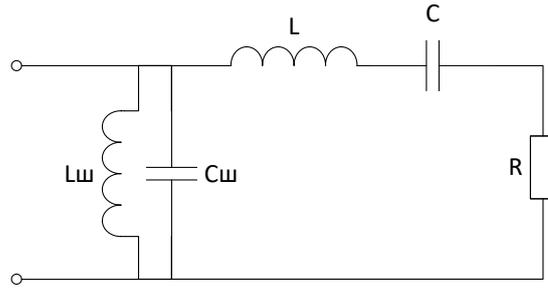


Рисунок 1. Эквивалентная схема антенны.

На рисунке 1. L , C , R – реактивности: индуктивность и емкость плеч вибратора, R_v – активная составляющая входного сопротивления плеч вибратора, является функцией зависящей от частоты. Данные элементы образуют последовательный контур. Особенность данной схемы – введенный параллельный контур образованный короткозамкнутым отрезком симметричной полосковой линией передач стыкуемой параллельно с плечами вибратора. Эквивалентная схема короткозамкнутого шлейфа представлена на рисунке в виде контура $L_{ш}$, $C_{ш}$, сопротивлением потерь данного контура пренебрегаем ввиду незначительных размеров отрезка.

В зависимости от режима настройки этих контуров, получаем разную характеристику КСВн. Оптимальная настройка с двумя минимумами и заданным всплеском по заданному уровню КСВн соответствует виду Чебышевской характеристики и обеспечивает максимальную ширины полосу частот.

Предлагаемый излучатель выполнен как интегрированный излучающий модуль, включающий в себя печатную версию компактного симметрирующего устройства, плечи вибратора. Конструкция предлагаемого симметричного вибратора в печатном исполнении рассчитана [6] и оптимизирована при помощи программы трехмерного электродинамического моделирования.

Так как печатный излучатель находится в неоднородной среде (одной стороной он контактирует с воздухом, а с обратной с диэлектриком), то рассчитаем эффективную диэлектрическую проницаемость (1):

$$\varepsilon_{эф} = \left(\frac{\varepsilon_r + 1}{2} \right) + \left(\frac{\varepsilon_r - 1}{2} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}}, \quad (1)$$

Где ε_r – диэлектрическая проницаемость материала, w – примерная ширина излучателя, h – толщина диэлектрического материала. В результате, модуль выполняется на двух двухсторонних фольгированных заготовках размерами 110×75 мм (a×b) из материала Rogers RO4003C™ толщиной 0.75 мм и диэлектрической

проницаемостью 3,55. (рисунок 2). Общая длина плеч излучателя с учетом $\varepsilon_{эф}$ составляет 108 мм, ширина плеч 4 мм. Длина питающего шлейфа 51 мм, ширина 5 мм. Высота экрана на подложке 5 мм.

На рисунке 2 представлена топология одного из двух идентичных элементов, с двух сторон: слева питающая линия и директорный элемент, справа плечо вибратора с элементом шлейфа и экран.

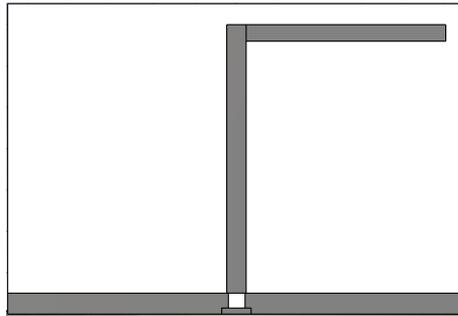


Рисунок 2. Топология плеча и экрана вибратора на подложке

Конструкция симметричного вибратора была промоделирована [6] в CST Microwave Studio [7]. Конструкция предлагаемого симметричного вибратора в печатном исполнении рассчитана и оптимизирована при помощи программы трехмерного электродинамического моделирования. Трехмерная модель антенны представлена на рисунке 3.

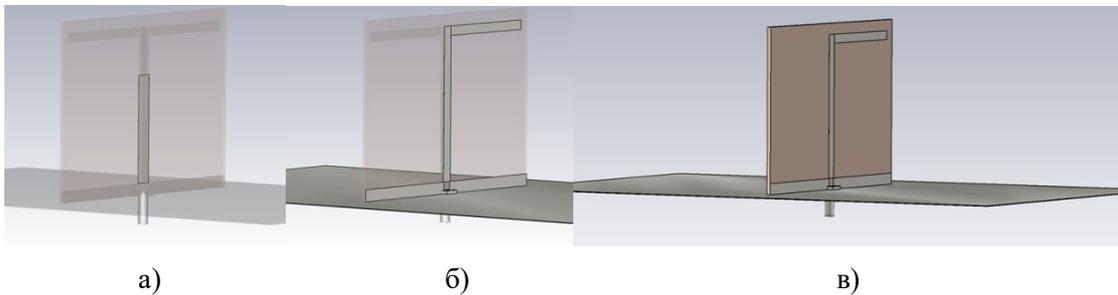


Рисунок 3. Топология плеча и экрана вибратора на подложке а) топология питающего шлейфа, б) топология плеча, в) трехмерная модель антенны с экраном

Результаты моделирования представлены на рисунках 4-6. На рисунке 4 приведена частотная характеристика КСВн.

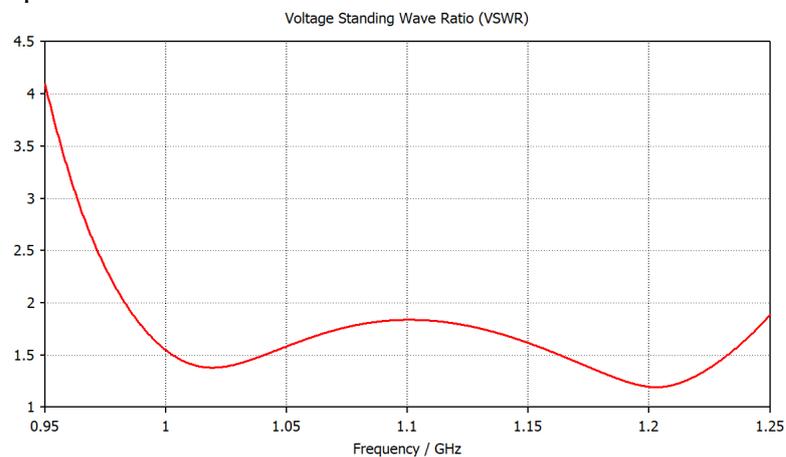


Рисунок 4. График КСВн в полосе частот

По уровню КСВн равному 2, нижняя частота рабочего диапазона составила $f_n = 0.98$ ГГц, верхняя $f_v = 1.25$ ГГц, тем самым полоса рабочих частот по уровню по КСВн равному 2 составляет 24%.

На рисунке 5 и рисунке 6 приведены диаграммы направленности по основной поляризации на исследуемой частоте в плоскости вектора напряженности магнитного и электрического полей соответственно.

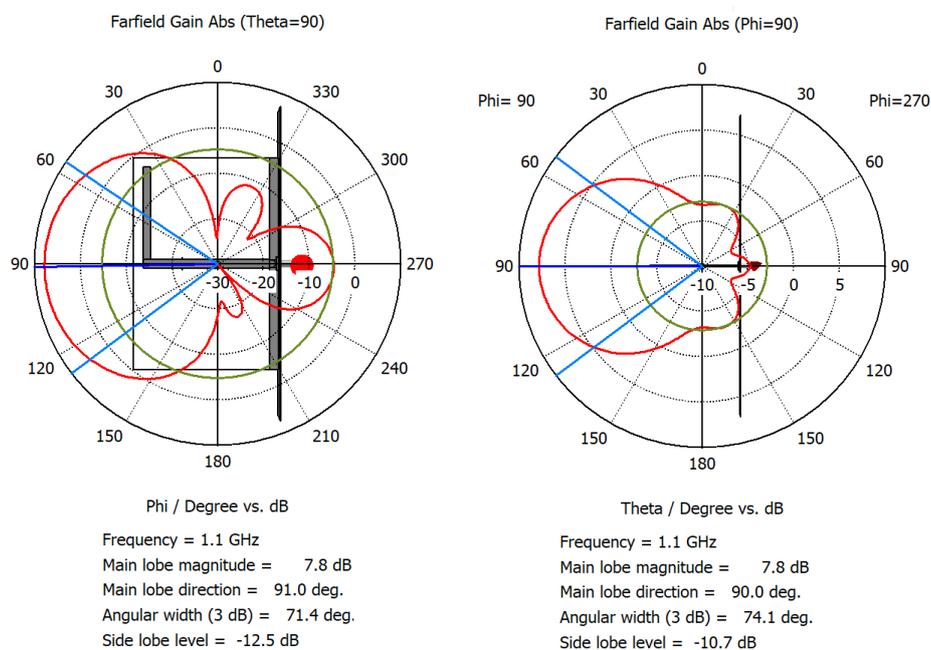


Рисунок 5. Диаграмма направленности в плоскости E и H вектора напряженности электрического и магнитного поля на центральной частоте

На рисунках 6 и 7 приведены график КСВн экспериментального образца и фотография антенны с векторным анализатором цепей Обзор-TR1300/1.

По уровню КСВн равному 2, нижняя частота рабочего диапазона составила $f_n = 0.97$ ГГц, верхняя $f_v = 1.25$ ГГц, тем самым полоса рабочих частот по уровню по КСВн равному 2 составляет 25%.



Рисунок 6. График КСВн экспериментального образца в полосе частот

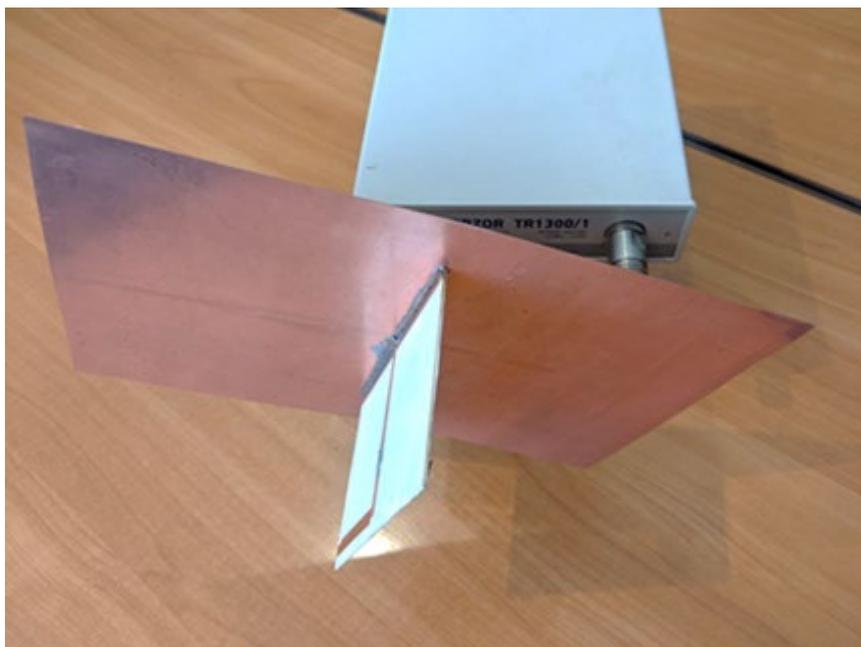


Рисунок 7. Экспериментальный образец с векторным анализатором цепей Обзор-TR1300/1.

3. Заключение

В работе представлены промоделированные и измеренные характеристики дипольного печатного излучателя. В предложенном варианте контуры настроены на разные частоты по критерию максимальной широкополосности по заданному уровню $K_{СВн} = 2$. Результаты моделирования и экспериментальных измерений параметра $K_{СВн}$ совпадают с высокой точностью. Печатный диполь имеет широкие возможности для его практического применения, как в качестве отдельной самостоятельной антенны, так и в качестве широкополосного излучателя цифровой антенной решетки.

Список литературы

1. Широкополосный излучатель фазированной антенной решетки в печатном исполнении / А. С. Разумихин, Г. Н. Девятков, К. А. Лайко, Ю. О. Филимонова // Вопросы радиоэлектроники. 2020. № 10. С. 38-45.
2. Пат. 2 717 573 РФ, МПК Н 01 Q 9/16. Симметричный вибратор в печатном исполнении / К.А. Лайко (РФ), А.С. Разумихин (РФ), Ю.О. Филимонова (РФ). – № 2 019 119 273; заявл. 19.06.19; опубл. 24.03.20, Бюл. № 9.
3. *W. Krouka, S. Fenni, M. Challal, R. Aksas*. Evaluation of Polarization Diversity Antenna for Wireless Communication Applications // IEEE 2015 4th International Conference on Electrical Engineering (ICEE). 13-15 Dec. 2015.
4. *J.M. Floc'h, F. Queudet, E. Fourn*. Design of printed dipole with reflector // IET The Second European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2007. 11-16 Nov. 2007.
5. Пат. 2 768 530 РФ, МПК Н 01 Q 9/00. Широкополосный симметричный вибратор в печатном исполнении / К.А. Лайко (РФ), А.С. Разумихин (РФ), Ю.О. Филимонова (РФ). – № 2 021 116 182; заявл. 04.06.21; опубл. 24.03.22, Бюл. № 9.
6. *А.О. Касьянов*. Моделирование излучателей микрополосковых антенных решеток с продольным расположением элементов // Известия ТРТУ. 2006. № 9. С. 33-37.
7. *CST Studio Suite [Электронный ресурс]. URL: https://www.3ds.com/productsservices/simulia/products/cst-studio-suite/ (дата обращения: 10.03.2023).*