

Многослойная структура широкополосного симметричного печатного излучателя дипольного типа

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

Новосибирский государственный технический университет

Аннотация: в данной работе предложена конструкция симметричного вибраторного излучателя в печатном исполнении сантиметрового диапазона. Описывается эквивалентная схема трехконтурной структуры излучателя. Рассмотренная конструкция излучателя, выполнена на диэлектрической подложке duroid 5880 толщиной $t=1.5$ мм и приведены результаты электромагнитного моделирования. Симметричный вибратор настроен на среднюю частоту 3.1 ГГц и обеспечивает относительную полосу частот более 30% по уровню коэффициента стоячей волны менее полтора. Широкая рабочая полоса достигается за счет введения трехконтурной системы. Приводятся топология, а также характеристики согласования и направленности излучателя. Антенна промоделирована в программе трехмерного электродинамического моделирования CST Microwave studio.

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 конструкция двухконтурной вибраторной антенны [2] в печатном исполнении. Но для расширения полосы частот при значениях КСВн менее полтора, предлагается трехконтурная структура излучателя. Один из контуров представляет собой двухпроводную симметричную линию с лицевой связью, которая образует короткозамкнутый шлейф [3,4], второй контур образован плечами вибратора, третий контур образован согласующим печатным излучателем директорного типа. Ранее конструкция защищена патентом [5]. Эквивалентная схема трехконтурного вибраторного излучателя имеет следующий вид: (рисунки 1).

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

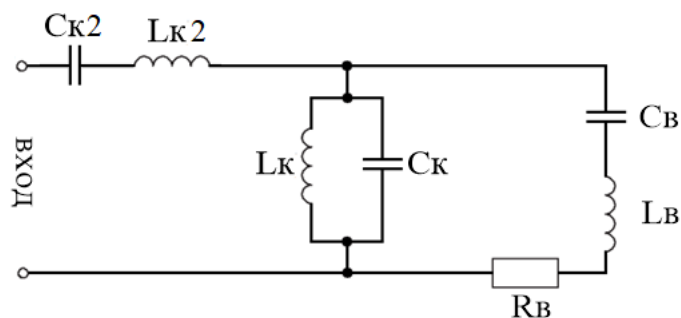


Рисунок 1. Эквивалентная схема антенны.

На рисунке 1. $Lв$, $Cв$, $Rв$ – реактивности: индуктивность и емкость плеч вибратора, $Rв$ - 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 линии передач стыкуемой параллельно с плечами вибратора и последовательный контур образованный добавочным печатным директорным элементом. Эквивалентная схема короткозамкнутого шлейфа представлена на рисунке в виде контура $Lк$, $Cк$, сопротивлением потерь данного контура пренебрегаем ввиду незначительных размеров отрезка. $Lк2$ и $Cк2$ представляют собой контур директорного элемента, сопротивлением потерь которого также пренебрегаем. Данная система образует трехконтурную структуру, которая при оптимальной настройке, обладает более широкой полосой частот, относительно одноконтурной или двухконтурной системы.

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

Предлагаемый излучатель выполнен как интегрированный излучающий модуль, включающий в себя печатную версию компактного симметрирующего устройства, плечи вибратора и директорного элемента. Конструкция предлагаемого симметричного вибратора в печатном исполнении рассчитана [6] и оптимизирована при помощи программы трехмерного электродинамического моделирования. Рассчитаем общую длину плеч полуволнового вибратора (1):

$$l = \frac{c}{2f}, \quad (1)$$

где c – скорость света в вакууме, f – центральная частота 3.1 ГГц. Так как печатный излучатель расположен на диэлектрической подложке, в среде которая обладает своими характеристиками, от которых будет зависеть электрическая длина волны в материале. Так как печатный излучатель находится в неоднородной среде (одной стороной он контактирует с воздухом, а с обратной с диэлектриком), то рассчитаем эффективную диэлектрическую проницаемость (2):

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

где ε_r – диэлектрическая проницаемость материала, w – примерная ширина излучателя, h – толщина диэлектрического материала. В результате, модуль

выполняется на двух двухсторонних фольгированных заготовках размерами 20×11 мм (a×b) из материала duroid 5880 толщиной 1,5 мм и диэлектрической проницаемостью 2,2. (рисунок 2). Общая длина плеч излучателя с учетом $\varepsilon_{эф}$ составляет 17 мм, ширина плеч 2,1 мм. Длина питающего шлейфа 7.2 мм, ширина 3 мм. Ширина экрана на подложке 1мм.

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.

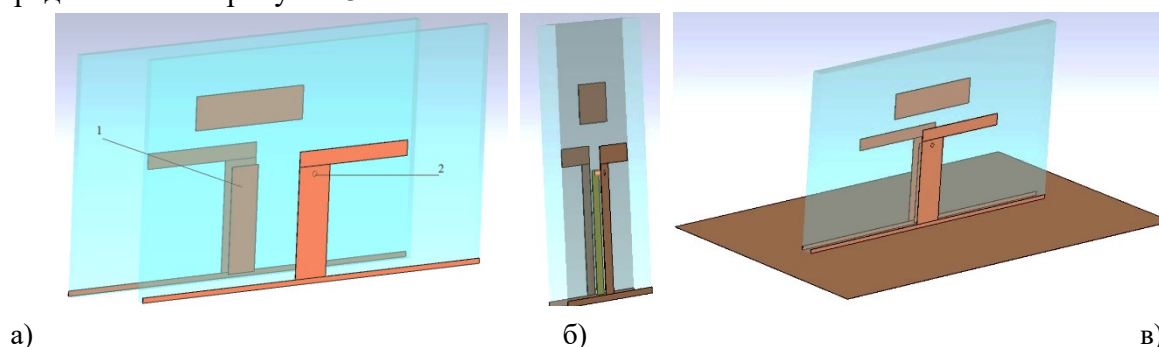


Рисунок 3. Топология плеча и экрана вибратора на подложке а) топология излучателя на двух платах, б) соединение двух плат, в) трехмерная модель антенны с экраном

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

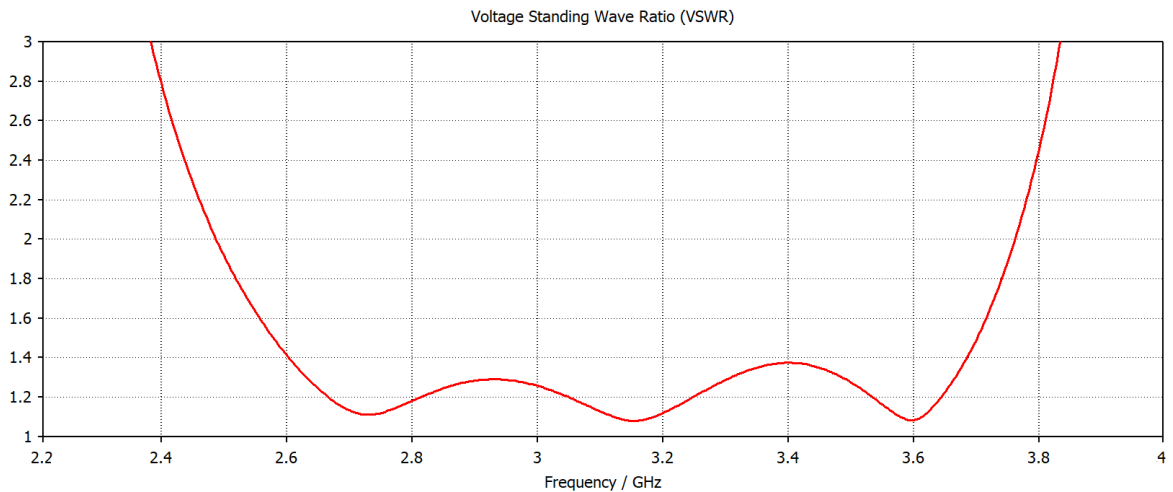


Рисунок 4. График КСВн в полосе частот

Минимальный КСВн в полосе частот рабочего диапазона равняется 1.07 что свидетельствуют о хорошем согласовании антенны с питающим фидером. По уровню КСВн равному 1.5, нижняя частота рабочего диапазона составила $f_n = 2.58$ ГГц, верхняя $f_v = 3.7$ ГГц, тем самым полоса рабочих частот по уровню по КСВн равному 1.5 составляет 35%. Полоса частот по уровню КСВн менее 2 составляет 40%.

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

Из представленных результатов следует, что среднее значение коэффициента усиления (КУ) составляет 7.7 дБ; неравномерность КУ в указанной полосе частот по уровню КСВн = 1.5 составляет ± 0.2 дБ. Уровень боковых лепестков от -20 до -15 дБ.

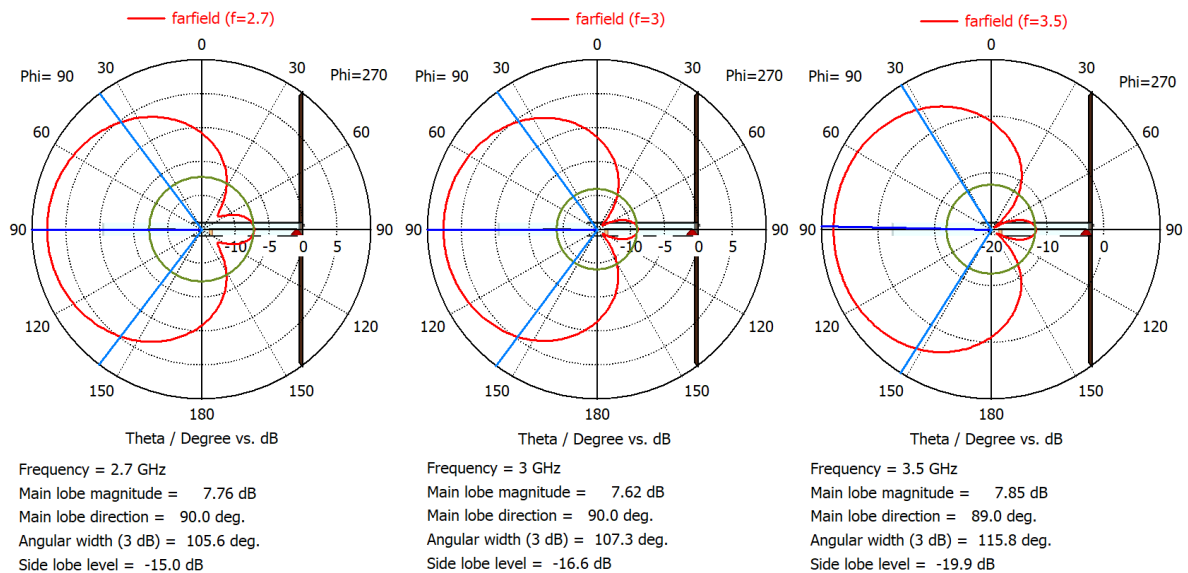


Рисунок 4. Диаграмма направленности в плоскости Н вектора напряженности магнитного поля на нижней, центральной и верхних частотах

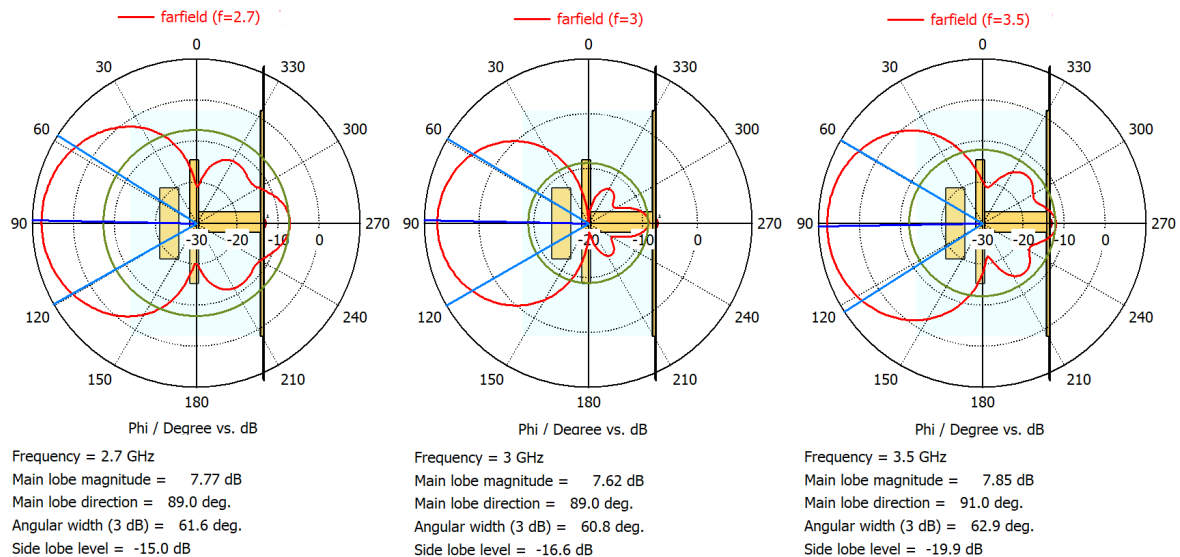


Рисунок 5. Диаграмма направленности в плоскости E вектора напряженности электрического поля на нижней, центральной и верхних частотах

3. Заключение

В работе представлены промоделированные характеристики дипольного печатного излучателя цифровой ФАР. Конструкция излучателя представляет трехконтурную структуру печатной симметричной вибраторной антенны. В предложенном варианте контуры настроены на разные частоты по критерию максимальной широкополосности по заданному уровню КСВн = 1.5. В общем случае имеется возможность настраивать контуры на три разные частоты, при этом диапазон рабочих частот существенно увеличивается, что позволяет получить сверхширокополосную антенну. Печатный диполь имеет широкие возможности для его практического применения, как в качестве отдельной самостоятельной антенны, так и в качестве излучателя 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: 11.04.2022).*