

Вибраторная антенна на меандровой линии с включениями LC-контуров

А. М. Егиазарян¹, С. Н. Бойко², О. В. Корышев³, И. М. Трухачев⁴

АО «Научно-исследовательский институт космического приборостроения»

¹egiazaryan_am@orkkniikp.ru, ²boyko_sn@orkkniikp.ru,
³koryshev_ov@orkkniikp.ru, ⁴trukhachev_im@orkkniikp.ru

Аннотация. Предложена новая конструкция многочастотной вибраторной антенны на основе меандровой линии с включениями в виде параллельных LC-контуров и фрагментированной «плавающей земли». Для расчёта характеристик антенны применена оригинальная методика, основанная на замене вибраторной антенны длинной линией с эквивалентными параметрами. Приведены расчетные и экспериментальные характеристики предложенной антенны, показавшие хорошее совпадение.

Ключевые слова: вибраторная антенна; меандровая линия; LC-контур; «плавающая земля»; диаграмма направленности

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуален вопрос уменьшения габаритов антенн, а также реализации многочастотного режима работы. Одним из способов достижения многочастотного режима вибраторных антенн является введение в его плечи индуктивных включений [1]. Однако такие включения не обеспечивают отсечку токов на высших рабочих частотах, что влечет за собой искажения формы диаграмм направленности. Для решения этой проблемы предлагается вместо индуктивных включений применить включения в виде параллельных LC-контуров, а укорочение вибраторной антенны осуществить путём выполнения её в виде меандра.

II. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНТЕННЫ

A. Конфигурация антенны

С целью обеспечения работы на нескольких частотах одновременно и уменьшения длины предложена вибраторная антенна принципиально новой конструкции, выполненная на меандровой линии, имеющей включения в виде параллельных LC-контуров, с «плавающей землёй» [2]. «Плавающая земля» – проводящий элемент антенной структуры, не имеющий контакта с цепью питания. Общий вид несимметричной вибраторной антенны в форме меандра с «плавающей землей» показан на рис. 1а. Антенна состоит из двухсторонней печатной платы и экрана. На лицевой стороне антенной платы расположена топология в виде меандра (рис. 1б), в некоторых из горизонтальных частей которого включены параллельные LC-контур, причем емкости представляют собой установленные SMD-компоненты, а индуктивности – навитые через прорези в плате медные провода. На тыльной стороне расположена фрагментированная «плавающая земля», не имеющая электрического контакта с экраном антенны (рис. 1в). «Плавающая земля» служит для дополнительного укорочения антенны (диэлектрическая проницаемость

подложки проявляется в полной мере) и исключения взаимной связи контуров.

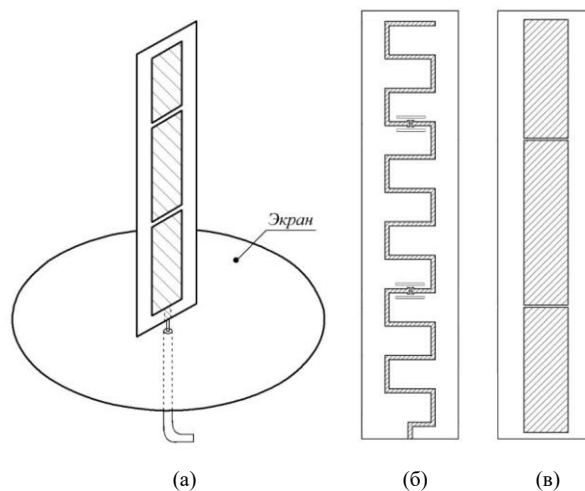


Рис. 1. (а) Общий вид вибратора в форме меандра с «плавающей землёй». Топология (б) лицевой и (в) тыльной сторон печатной платы

Щели в «плавающей земле» играют роль емкостей и обеспечивают согласование антенны на всех рабочих частотах, при необходимости в щели могут быть установлены дополнительные SMD-конденсаторы.

B. Эквивалентная схема для расчета

Для расчета этой антенны использована методика, основанная на последовательном применении теории длинных линий к различным участкам вибраторной антенны [3], что подразумевает равенство погонных параметров длинной линии и соответствующих параметров антенны.

При расчете характеристик методом длинной линии вибраторная антенна в форме меандра с реактивными включениями и «плавающей землей» заменяется двумя параллельными двухпроводными линиями: первая соответствует меандровой линии, вторая – «плавающей земле» [4]. Эквивалентная схема предложенной антенны приведена на рис. 2.

Меандровая линия выступает возбуждающей структурой для «плавающей земли» и не излучает энергию в окружающее пространство, в то время как линия «плавающая земля» как раз излучает энергию.

C. Расчет и макетирование

Описанный выше подход был применен для расчета укороченной несимметричной вибраторной антенны, работающей на трёх частотах одновременно: 121,5 МГц, 162 МГц и 406 МГц. Длина антенны составила всего

185 мм. Макет трехчастотной антенны представлен на рис. 3.

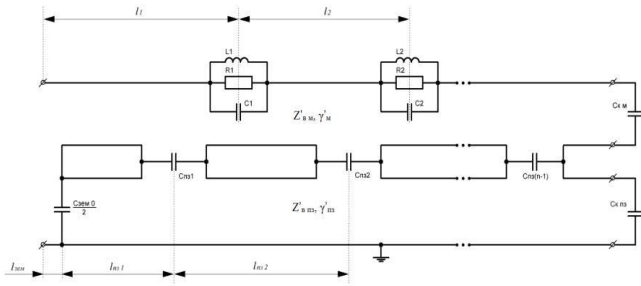


Рис. 2. Эквивалентная схема многочастотной вибраторной антенны

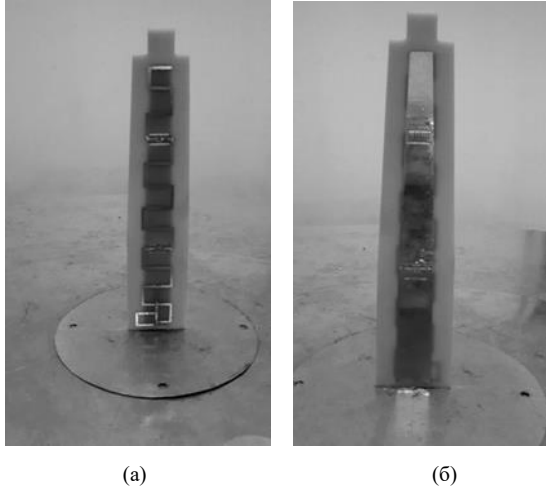


Рис. 3. Макет трехчастотной антенны: (а) лицевая сторона; (б) тыльная сторона

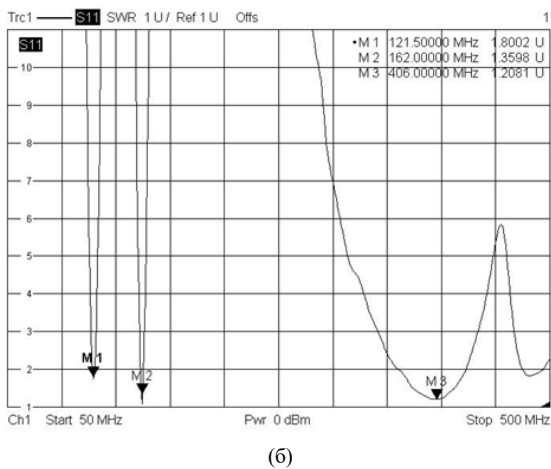
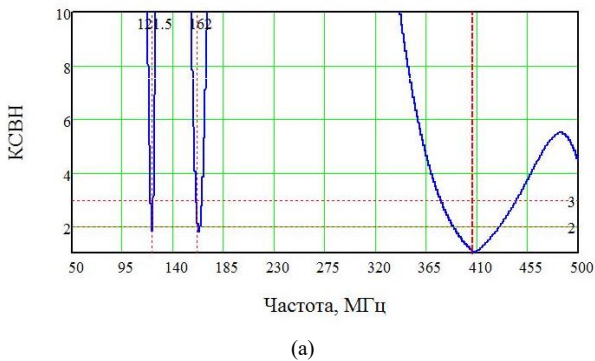


Рис. 4. Графики частотной зависимости КСВн вибраторной антенны в форме меандра с двумя LC-включениями и фрагментированной «плавающей землей»: (а) – расчетный; (б) – экспериментальный

Расчетный график КСВн антенны приведен на рис. 4а, а экспериментальный график КСВн макета трехчастотной антенны – на рис. 4б. Измеренные диаграммы направленности антенны на рабочих частотах показаны на рис. 5.

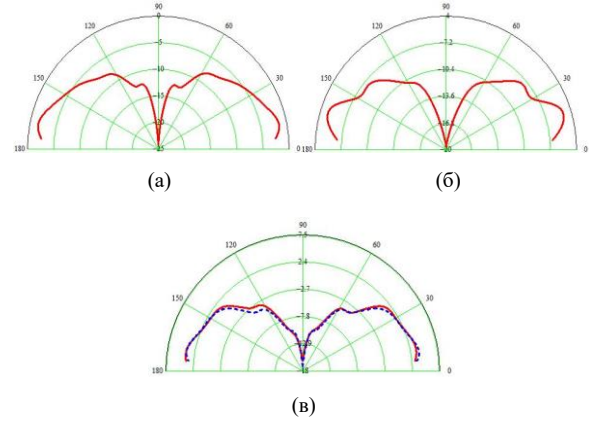


Рис. 5. Диаграммы направленности антенны на частотах 121,5 МГц (а), 162 МГц и 406 МГц (в)

D. Потенциальные возможности

С целью исследования минимально возможного разноса частот был проведен эксперимент по сближению нижних резонансных частот вибраторной антенны в форме меандра с двумя параллельными LC-включениями и фрагментированной «плавающей землей» путем укорочения верхней части меандра до момента рассогласования одной из частот выше уровня 2,0 по КСВн [5]. На рис. 6 приведен график зависимости КСВн вибраторной антенны в момент минимально возможного разделения нижних частот. Предел разделения резонансных частот лежит в районе 15–17 %.

Путем добавления еще одного, третьего LC-контура в топологии меандра можно добиться четырехчастотного режима работы антенны. На рис. 7 приведен экспериментальный график зависимости КСВн вибраторной антенны с тремя LC-включениями и спроектированной для работы на четырех частотах: 121,5 МГц, 162 МГц, 243 МГц и 406 МГц.

Из графика рис. 7 видно, что удалось согласовать антенну и на частоте 243 МГц, не ухудшив согласование на имеющихся трех частотах. В целом, максимальное число реализуемых одновременно резонансных частот в антеннах данного типа может быть равно количеству полупериодов меандровой линии без одного.

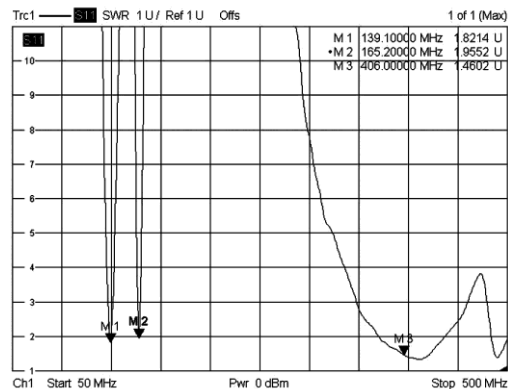


Рис. 6. График частотной зависимости КСВн макета вибраторной антенны после минимизации разделения нижних частот

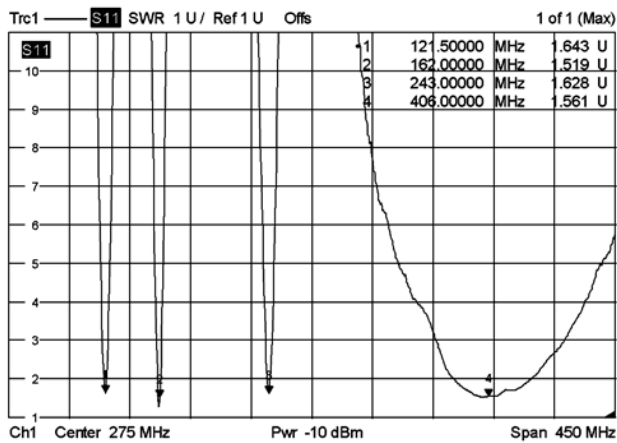


Рис. 7. График частотной зависимости КСВн вибраторной антенны в форме меандра с тремя LC -включениями и фрагментированной «плавающей землей»

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен вариант трёхчастотной вибраторной антенны на основе меандровой линии с включениями параллельных LC -контуров и «плавающей землей», который имеет более компактные габариты по сравнению с аналогичными вибраторными антеннами. Опытный образец антенны имеет КСВн $< 1,5$ (без дополнительных согласующих цепей на входе) и идентичные ДН на трёх рабочих частотах: 121,5 МГц, 162 МГц и 406 МГц, подобные ДН четвертьволнового вибратора.

Реализуемый минимальный разнос частот в антенне данного типа находится в районе 15–20 %, а максимальное число рабочих частот равно числу полупериодов меандровой линии без одного.

Антенна данного типа может найти применение в различных системах связи и управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Овсянников В.В. Электрически малые вибраторные, спиральные и петлевые антенны // Радиофизика и электроника. 2017. Т. 8(22). № 1. С. 57–67.
- [2] Бойко С.Н., Егиазарян А.М., Корышев О.В., Трухачев И.М. Проектирование многочастотной вибраторной антенны на меандровой линии с включениями резонансного типа и фрагментированной «плавающей землей» // Радиотехника. 2023. Т. 87. № 9. С. 5–23. DOI: <https://doi.org/10.18127/j00338486-202309-00>.
- [3] Фрадин А.З. Антенно-фидерные устройства. М.: Связь. 1977. 440 с.
- [4] Бойко С.Н., Зевакин Е.А., Корышев О.В., Трухачев И.М. Методика расчета входных характеристик вибраторной антенны с реактивными включениями // Радиотехника. 2020. Т. 84. № 5(10). С. 53–66. DOI: 10.18127/j00338486-202005(10)-06.
- [5] Шашков А.А., Бойко С.Н., Егиазарян А.М., Корышев О.В., Трухачев И.М. Проектирование вибраторных антенн с реактивными включениями: монография. М.: Радиотехника, 2024. 160 с. ISBN 978-5-93108-237-0.