

Неведров Михаил Геннадьевич, ассистент, кафедра «Радиоэлектронные системы и технологии»,

ФГАОУ ВО Севастопольский Государственный университет,

e-mail: mgnevedrov@sevsu.ru

РАЗРАБОТКА ПЛОСКОЙ ДИРЕКТОРНОЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ ПЕТЛЕВОГО ВИБРАТОРА СРЕДСТВАМИ ЧИСЛЕННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Аннотация: В настоящее время при выборе практического применения индивидуальных антенн и особенно антенных решеток все большее предпочтение отдается более высокотехнологичным вариантам. Тем более, что благодаря технологии печати, как альтернативе проволочного исполнения, удается не только снизить себестоимость производства и повысить надежность антенны, но и обеспечить хорошую повторяемость электрических характеристик при дублировании антенн, что особенно важно в антенных решетках. В статье исследуется возможность реализации плоской антенны (типа Yagi) на основе петлевого вибратора со схемой питания на основе микрополосковой линии, не требующей использования симметрирующего устройства. Работоспособность предложенной конструкции антенны доказывается моделированием в САПР CST Studio Suite.

Ключевые слова: петлевой вибратор, директорная антенна, микрополосковая линия, антенна Яги, моделирование, CST Studio Suite.

Annotation: Currently, when choosing the practical application of individual antennas and especially antenna arrays, more and more high-tech options are increasingly preferred. Moreover, thanks to the printing technology, as an alternative to wire implementation, it is possible not only to reduce the cost of production and

increase the reliability of the antenna, but also to ensure good repeatability of electrical characteristics when duplicating antennas, which is especially important in antenna arrays. The report explores the possibility of implementing a flat antenna (Yagi type) based on a folded dipole with a power supply scheme based on a microstrip line that does not require to use of a balancing device. The operability of the proposed antenna design is proved by modeling in CST Studio Suite CAD.

Keywords: folded dipole, director antenna, microstrip line, Yagi antenna, simulation, CST Studio Suite.

Материалы и методы. Известно, что одиночный с длиной плеча l около четверти длины волны (полуволновый петлевой вибратор) имеет входное сопротивление около 300 Ом [1, с. 247]. Очевидно, что при волновом сопротивлении коаксиального кабеля ρ_F , равном 75 Ом, сложно обеспечить согласование с ним такой антенны. Кроме того, требуется возбудить симметричный диполь несимметричным фидером, что обычно требует специального устройства. В работе [2] предложен плоский петлевой вибратор, возбуждаемый ступенчатой микрополосковой линией (МПЛ), проложенной по одной половине петли. Благодаря этому было обеспечено согласование антенны и отсутствие симметрирующего устройства. Однако петлевой вибратор обладает слабой направленностью, поэтому в данной работе исследуется возможность повысить направленность плоской антенны на принципе директорной антенны [1, с. 245]: добавить в конструкцию один рефлектор и несколько директоров. Число директоров выберем таким, чтобы входное сопротивление антенны оказалось близким к 75 Ом, тогда МПЛ можно будет выполнить без ступеней, с постоянной шириной полоска.

Для определённости выберем дециметровый диапазон длин волн (ДМВ), полосу частот телевизионного вещания от 470 МГц до 790 МГц [3, с. 431], для которой средняя частота равна 630 МГц (длина волны λ равна 476 мм). В качестве основы возьмём доступный и недорогой материал — фольгированный стеклотекстолит толщиной 1.5 мм, с относительной диэлектрической

проницаемостью ϵ , равной 5.5. Для моделирования нами была выбрана система автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн *CST Studio Suite* [4].

Стратегия моделирования включала разработку и исследование ряда последовательно усложняющихся моделей. Начальная модель содержала одиночный плоский полуволновый петлевой вибратор, образованный лентой из фольги и возбуждаемый точечным портом *Port1* с внутренним сопротивлением 300 Ом. Отношение длины диполя $2l$ к ширине петли $2b$ было взято равным 5, а ширина ленты фольги sl была выбрана из условия достаточности для реализации МПЛ [5, стр. 59]: для выбранного материала толщиной bd ширина полоска 75-омной МПЛ составила около 1 мм, ширина ленты 7 мм (рис. 1).

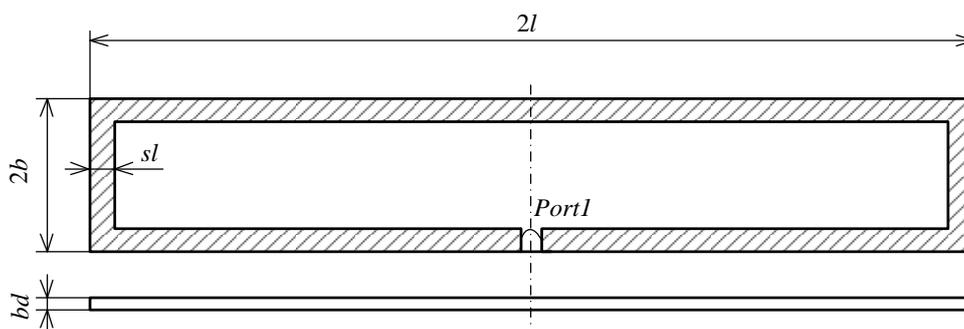


Рис. 1. Схема начальной модели петлевого вибратора

В результате анализа и оптимизации данной модели была подобрана длина плеча, при которой достигалось наилучшее согласование входного сопротивления: потребовалось укорочение плеч примерно на 10%. Относительная полоса рабочих частот δ_F по уровню коэффициента стоячей волны (КСВ) 2.0 составила 21%. Было установлено, что в плоскости антенны максимальный коэффициент направленного действия D (КНД) составил 2.58 dBi , а передне-заднее отношение R_{FR} (ПЗО) — около 1 dB . Это означает, что пассивная половина петли уже способствует повышению направленности антенны.

Для дальнейшего повышения направленности в следующую модель был

введён рефлектор в виде прямого отрезка ленты из фольги такой же ширины. С учётом действия пассивной части петли рефлектор был размещён позади неё, хотя это и приводит к усложнению устройства возбуждения антенны. В результате моделирования было установлено, что благодаря сопротивлению, вносимому рефлектором во входное сопротивление антенны, внутреннее сопротивление порта можно снизить до 150 Ом. Были подобраны оптимальная длина рефлектора, которая составила около 0.4 от длины волны, и расстояние от края петли до рефлектора — около 0.2 от длины волны. При этом КНД D составил 5.92 dBi , а ПЗО R_{FR} — около 14 dB . Относительная полоса рабочих частот ожидаемо снизилась до 11%.

Последующие модели содержали один, затем два рефлектора при внутреннем сопротивлении порта 75 Ом. Наилучшие результаты получились при расстоянии между директорами около 0.2λ .

В окончательную модель были введены микрополосковые элементы возбуждения так, чтобы кабель был подключён к антенне только на краю плоской структуры: лента из фольги между рефлектором и петлёй, выполняющая роль экрана МПЛ, и полосок МПЛ с волновым сопротивлением 75 Ом, проложенный по обратной стороне подложки от края структуры до центра пассивной части петли, затем, по одной полупетле, до зазора в активной части петли (рис. 2). Вешний проводник коаксиального кабеля должен быть соединён с рефлектором, а внутренний — с полоском МПЛ (точка *Port* на рис. 2). Соединение полоска МПЛ с петлёй осуществляется металлическим штырём (точка *Pin* на рис. 2).

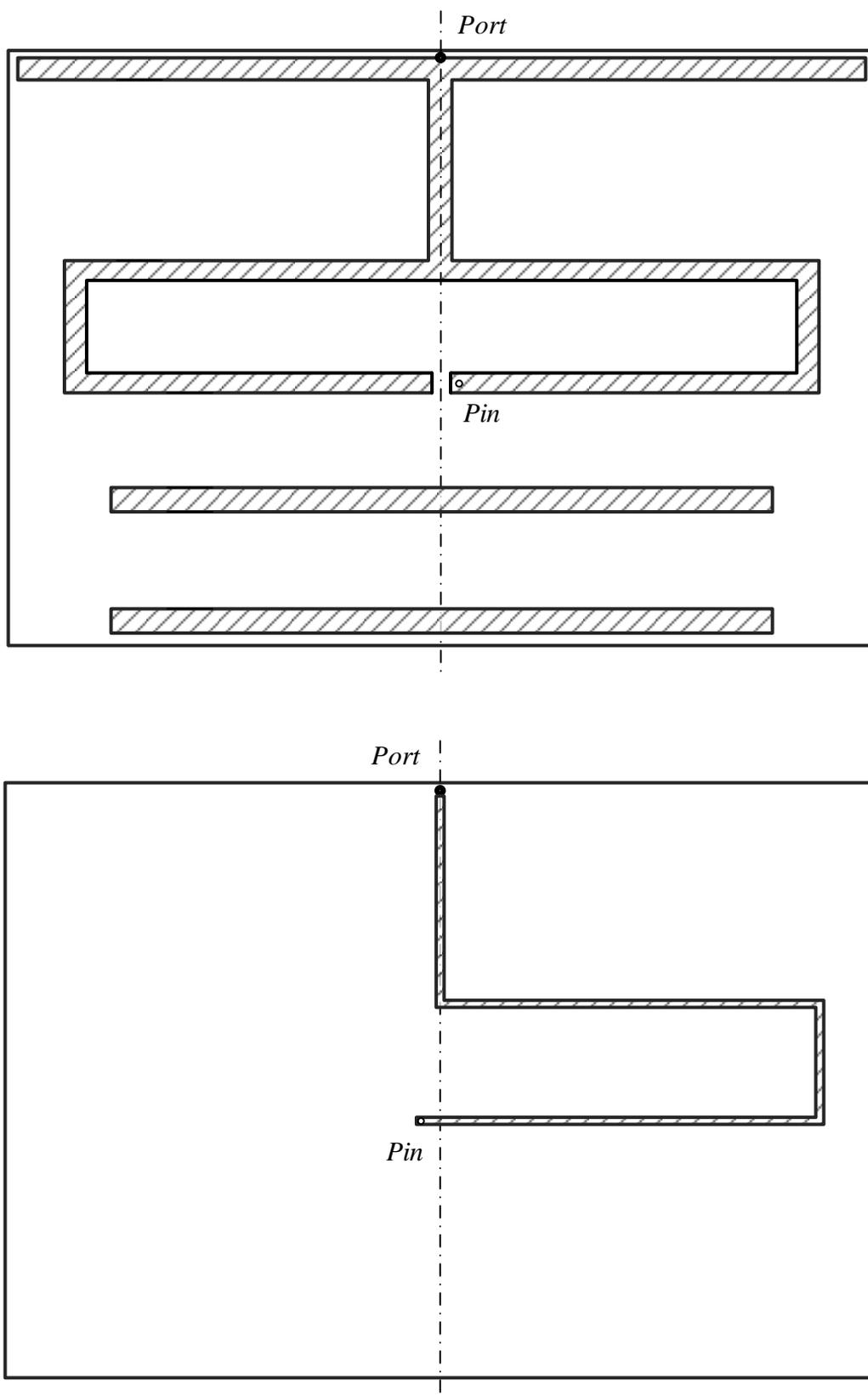


Рис. 2. Топология модели директорной антенны с фронтальной стороны и со стороны МПЛ

Результаты. Для модели плоской директорной антенны с

микрополосковым устройством возбуждения относительная полоса рабочих частот по уровню КСВ 2,0 составила 9%, а по уровню 3,0 достигала 13% (рис. 3).

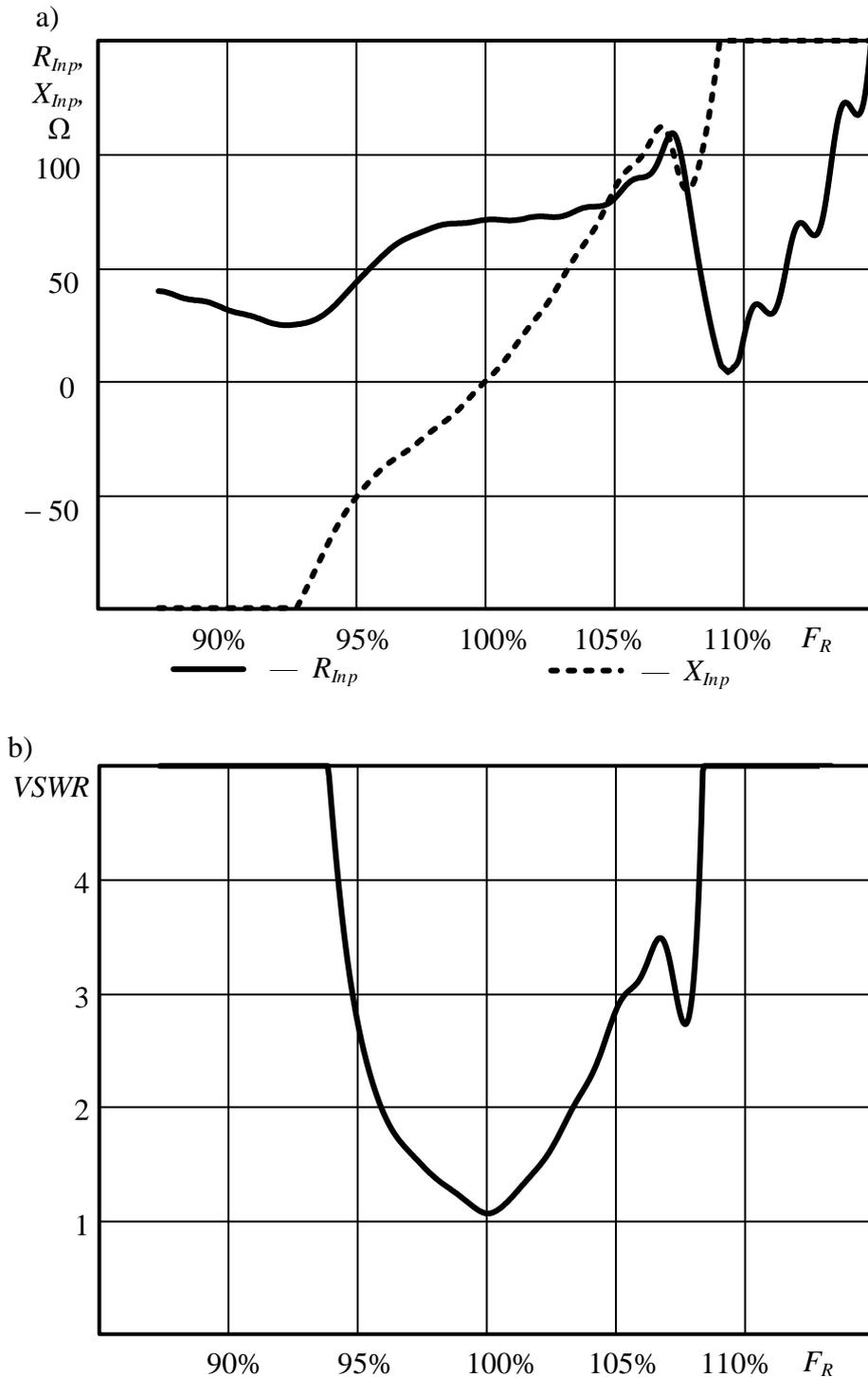


Рис. 3. Частотные зависимости составляющих входного сопротивления (а) и КСВ (b) микрополоскового входа с волновым сопротивлением 75 Ом

Диаграммы направленности модели имели практически симметричный вид, КНД достигал 7.6 dBi , а ПЗО составило -18.6 dB . Главный лепесток в плоскости вектора E имел ширину 67° , а в плоскости вектора H — 103° (рис. 4).

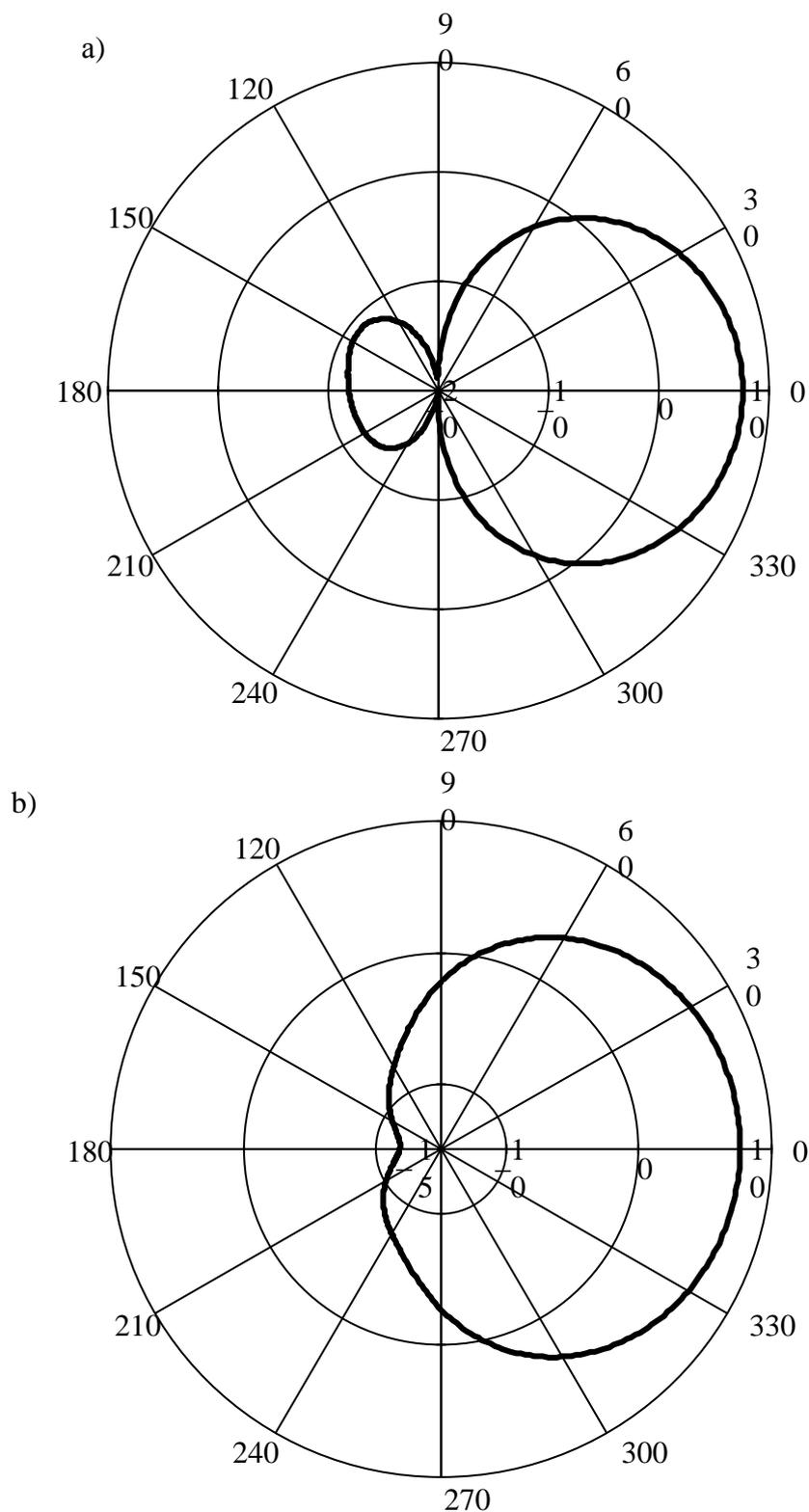


Рис. 4. Вид диаграмм направленности в плоскости E (a) и в плоскости H (b)

Обсуждение и выводы. В результате проведенного моделирования доказана работоспособность плоской четырёхэлементной директорной антенны ДМВ диапазона на основе петлевого вибратора с микрополосковым устройством возбуждения в относительной полосе рабочих частот около 10%. КНД антенны превышает 7.5 dB, что у известных антенн в «проволочном» исполнении достигается только при 5—6 элементах [3, с. 108, 114].

Библиографический список:

1. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ. — М.: Высш. шк., 1988. — 432 с.
2. Слезкин В. Г., Слезкин Г. В. Петлевая антенна с микрополосковой схемой питания / В. Г. Слезкин, Г. В. Слезкин // СВЧ техника и телекоммуникационные технологии: 32-я Междунар. Крымская конф. (КрыМиКо'2022). — Севастополь, 6 — 12 сент. 2021 г.: матер. конф. — Москва; Минск; Севастополь, 2022. — Вып. 4. — С. 112–113. — ISSN 2619-1628.
3. Шпиндлер Э. Практические конструкции антенн / Э. Шпиндлер: пер. с нем. — М.: Мир, 1989. — 448 с.
4. Курушин А. А. Проектирование СВЧ устройств в CST STUDIO SUITE: учебное пособие / А. А. Курушин. — М.: СОЛОН-Пресс, 2018. — 428 с.
5. Справочник по расчёту и конструированию СВЧ полосковых устройств / под ред. В. И. Вольмана. — М.: Радио и связь, 1982. — 328 с.