

УДК 621.396.67

ДИФРАКЦИЯ ВОЛНЫ НА КОНЦЕ ПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

И.А. Думчев, Н.И. Войтович

Проведены исследования согласования плоской резонаторной антенны с фидером. Изучен процесс перехода электромагнитной энергии от полосковой линии в область резонатора. Получено решение задачи о дифракции падающей Н-поляризованной плоской волны на идеально проводящую полуплоскость для произвольного угла падения волны.

Ключевые слова: резонаторная антенна; полосковая линия; объемный резонатор; согласование; дифракция.

Нарастающий прогресс в области развития беспроводных технологий вызвал необходимость в разработке антенн с малыми массогабаритными параметрами, большим коэффициентом усиления, высоким уровнем согласования антенны с фидером. Последние десятилетия специалисты многих зарубежных фирм активно разрабатывают плоские антенны, удовлетворяющие таким требованиям. Однако известные конструкции антенн имеют довольно существенные недостатки, обусловленные, например, применением в них печатных излучателей и микрополосковых линий передачи. Плоские антенны на основе объемного резонатора (резонаторные антенны) с частично прозрачными стенками обладают целым рядом конкурентных преимуществ в электродинамических, массогабаритных, конструкторских и технологических характеристиках по сравнению с антеннами известных типов [1].

Авторы занимаются исследованиями по изучению проблем создания плоских резонаторных антенн с частично прозрачной стенкой. Конечная **цель работы** – разработка конкурентноспособных отечественных антенн нового типа, свободных от недостатков известных аналогов.

Одним из объектов исследований является резонаторная антенна [2] для приема телевизионного сигнала со спутника в диапазоне 12 ГГц (рис. 1).

Данная антенна представляет собой прямоугольный металлический резонатор, на верхней стенке которого прорезана система прямоугольных излучающих отверстий 5. Антенна состоит из пяти областей, ограниченных металлическими стенками резонаторов, а также входными и выходными апертурами отверстий. Предполагается, что в модели антенны границы областей и поверхности конструктивных элементов являются идеально проводящими, а потери энергии в диэлектриках отсутствуют. Область 1 – резонатор с размерами $a_1 \times b_1 \times h$, высота h которого существенно меньше длины волны. В среднем сечении резонатора ($z = h/2$) размещена полосковая линия передачи. Область 2 – прямоугольный резонатор с размерами $a_2 \times b_2 \times H$, на верхней стенке которого размещены излучающие

отверстия 5, а на нижней – отверстие связи 4. Отверстие связи 4 ограничено металлическими стенками и окружено реактивными штырями. Область 3 – внешнее по отношению к антенне пространство.

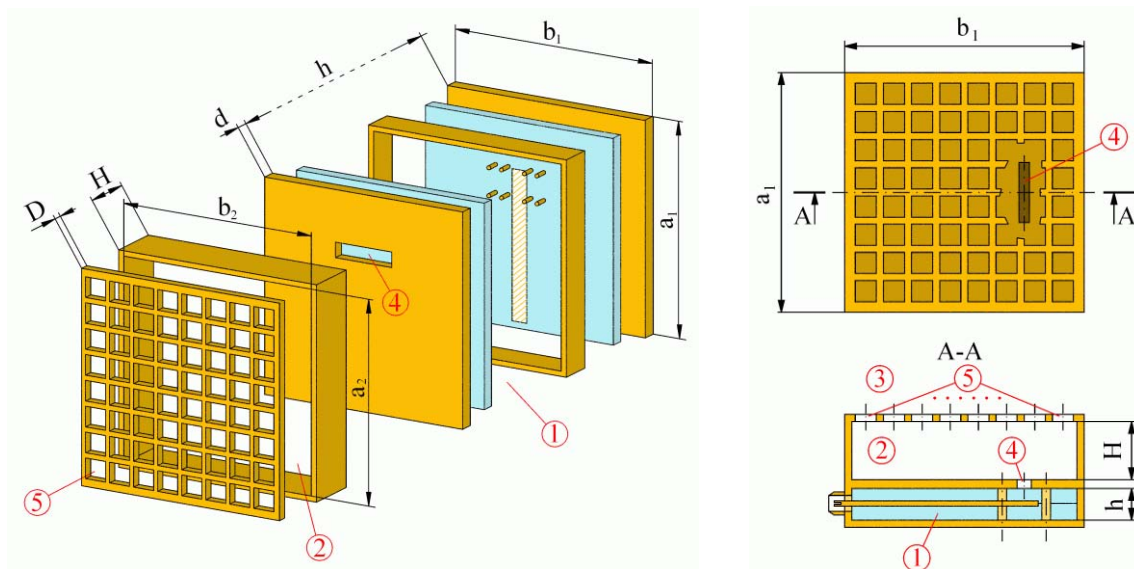


Рис.1. Плоская резонаторная антенна с частично прозрачной стенкой:
1 – проходной резонатор; 2 – прямоугольный резонатор,
на верхней стенке которого размещены излучающие отверстия 5
(частично прозрачная стенка), а на нижней – отверстие связи 4;
3 – внешнее по отношению к антенне пространство

В настоящей работе авторы продолжают исследование проблемы согласования антенны с фидером в диапазоне частот, являющейся одной из главных проблем при создании подобных антенн [3]. Для исследуемой антенны важным является понимание процесса перехода электромагнитной энергии от полосковой линии в область резонатора, позволяющий объяснить механизм возбуждения отверстия связи. Ранее было установлено, что при возбуждении объемного резонатора полосковой линией передачи реактивные штыри в антенне, окружающие отверстие связи и замыкающие экраны полосковой линии, не справляются со своей функцией – не локализуют электромагнитную энергию в области отверстия связи. В результате наблюдается распространение электромагнитной энергии в нижней области антенны, что приводит к нарушению согласования полосковой линии с антенной. Также было выяснено, что можно добиться узкополостного согласования за счет подбора выступа полосковой линии за центр щели [3].

Прежде чем начинать численные эксперименты по отработке согласования антенны, проанализируем полностью структуру электромагнитных полей во внутренней области антенны в случае хорошего согласования и в противном случае.

Для этого возьмем геометрию антенны, когда размер выступа полосковой линии за центр щели подобран такой, что в рабочем диапазоне частот обеспечено узкополостное согласование, и путем электродинамического моделирования [4] посчитаем анимационную картину поля во внутренней области антенны. Зависимость коэффициента отражения от частоты для данного случая приведена на рис. 2.

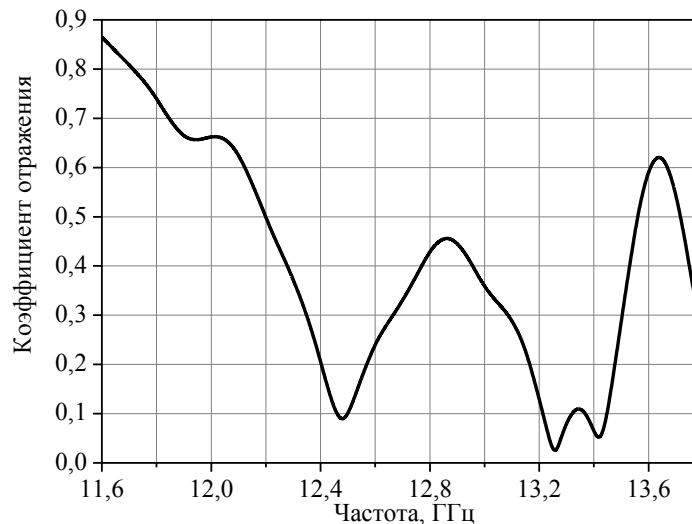


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения от частоты в случае узкополостного согласования

На рис. 3 приведена картина поля на частоте 12,48 ГГц в фиксированный момент времени для данной геометрии антенны.

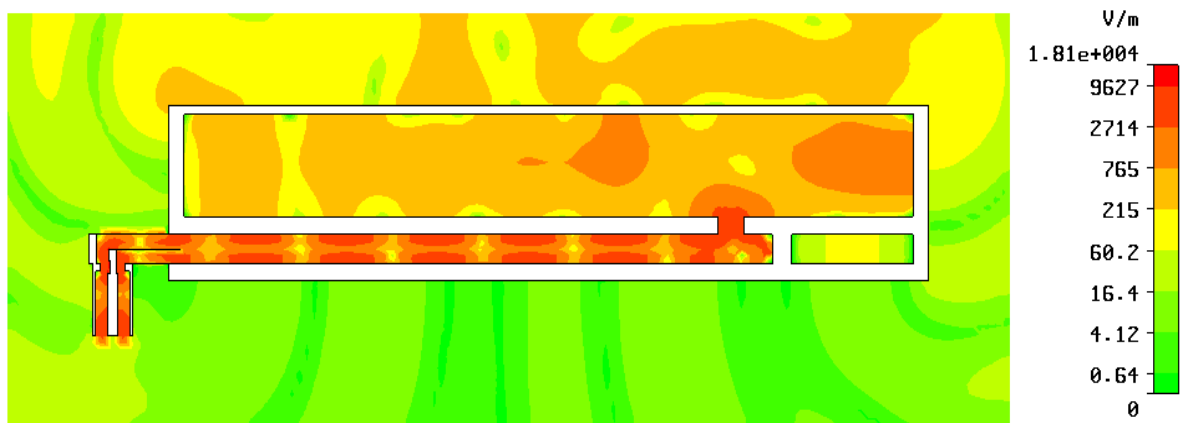


Рис. 3. Структура поля в фиксированный момент времени с фазой 2π во внутренней области антенны на частоте 12,48 ГГц

На рис. 4 приведена картина поля в фиксированный момент времени для этой же геометрии на частоте 11,8 ГГц в случае плохого согласования (коэффициент отражения равен 0,74).

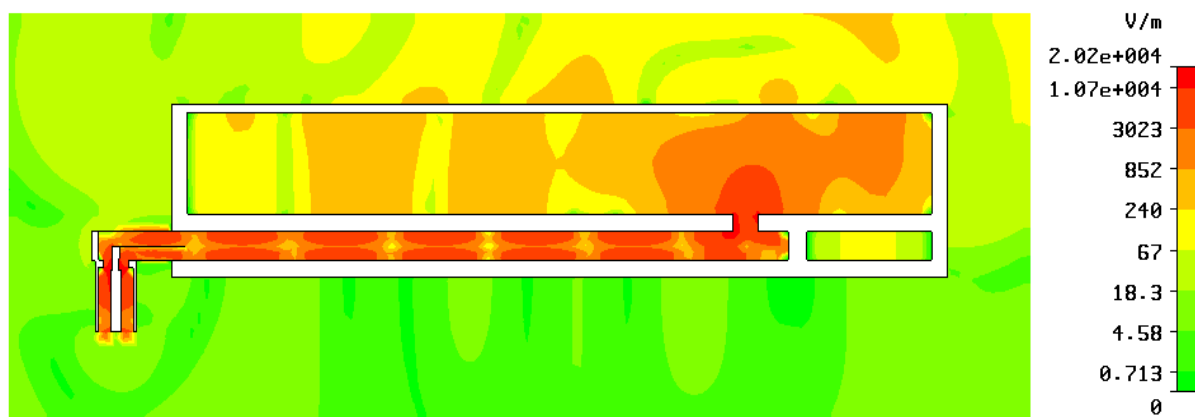


Рис. 4. Структура поля в фиксированный момент времени с фазой $\pi/2$ во внутренней области антенны на частоте 11,8 ГГц

Из рассмотрения полученных анимационных картин становится понятен процесс перехода электромагнитной энергии от полосковой линии в область резонатора, который позволяет объяснить тонкий электродинамический механизм возбуждения щели.

В случае хорошего согласования процесс возбуждения щели происходит таким образом, что в нижней области антенны наблюдается режим бегущих волн. При этом существует две волны: одна в области выше полосковой линии, а другая – ниже нее. Волна, распространяющаяся выше полоски, огибает нижнее ребро щели, а волна, распространяющаяся ниже полоски, распространяется дальше. Она огибает полоску и встречается с первой волной в фазе на средней линии щели. Суммарная волна проникает через щель в область верхнего резонатора.

А в случае плохого согласования наблюдается смешанный режим. Но поскольку часть мощности проникает в верхний резонатор, то в нем некоторое сложение двух волн все же наблюдается, но они уже значительно слабее по амплитуде.

Таким образом, можно заключить, что для хорошего согласования антенны необходимо обеспечить синфазность этих двух волн в среднем сечении щели. Синфазность можно обеспечить подбором геометрии полосковой линии в нижней области антенны.

Для того чтобы более точно ответить на вопрос о фазах верхней и нижней волн, воспользуемся строгим решением задачи о дифракции падающей Н-поляризованной плоской волны на идеально проводящую полуплоскость [5], которое представлено в виде:

$$H_z = \frac{\exp\left(-\frac{1}{4}i\pi\right)}{\sqrt{\pi}} \exp(ikr) \{ G(u) + G(v) \}, \quad (1)$$

где $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число; λ – длина волны [мм]; r – расстояние до точки наблюдения в полярной системе координат; $G(u)$ и $G(v)$ – функции от u и v , где аргументы этих функций представлены в виде:

$$u = -\sqrt{2kr} \cos \frac{1}{2}(\theta - \alpha), \quad v = -\sqrt{2kr} \cos \frac{1}{2}(\theta + \alpha), \quad (2)$$

где θ – полярный угол [град]; α – угол падения волны [град]; функция G выражается следующим образом:

$$G(a) = \exp(-ia^2) F(a), \quad (3)$$

где $F(a) = \int_a^\infty \exp(i\mu^2) d\mu$ – комплексная форма интеграла Френеля.

В [5] приведены линии равных амплитуд и равных фаз компоненты H_z при дифракции нормально падающей H -поляризованной плоской волны на идеально проводящей полуплоскости. В нашем случае нужно решение задачи в тот момент, когда угол падения волны равен 0 градусов. Для этого воспользуемся программным продуктом MATLAB [6] и составим программу для вычисления линий равных амплитуд и равных фаз компоненты H_z для произвольного угла падения волны. На рис. 5 и 6 приведены линии равных амплитуд и равных фаз для угла падения волны 0 градусов.

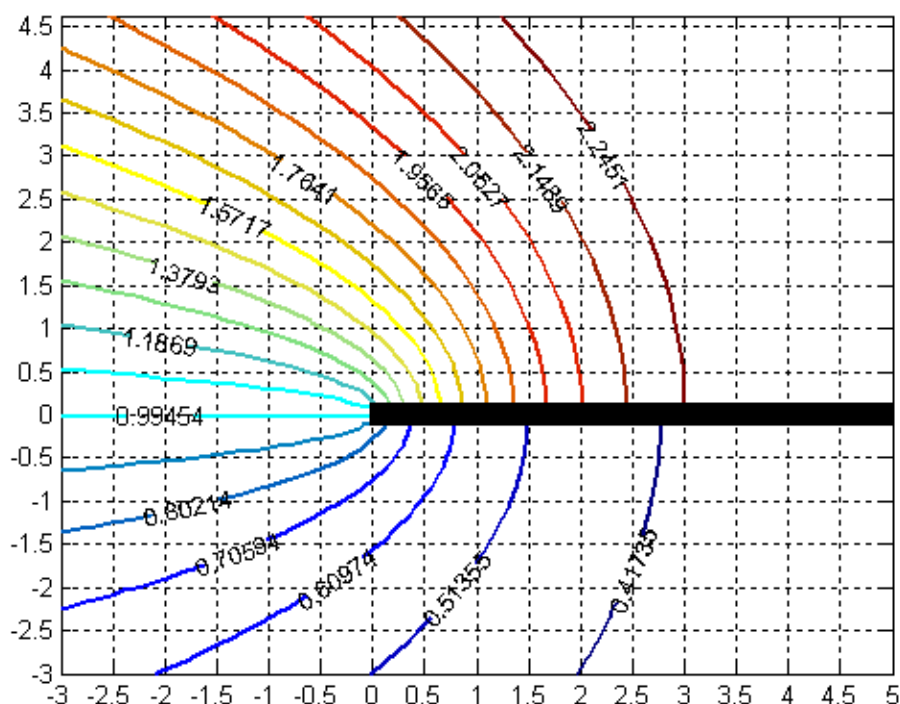


Рис. 5. Линии равных амплитуд компоненты H_z при дифракции падающей H -поляризованной плоской волны на идеально проводящей полуплоскости. Амплитуда падающей волны принята за единицу

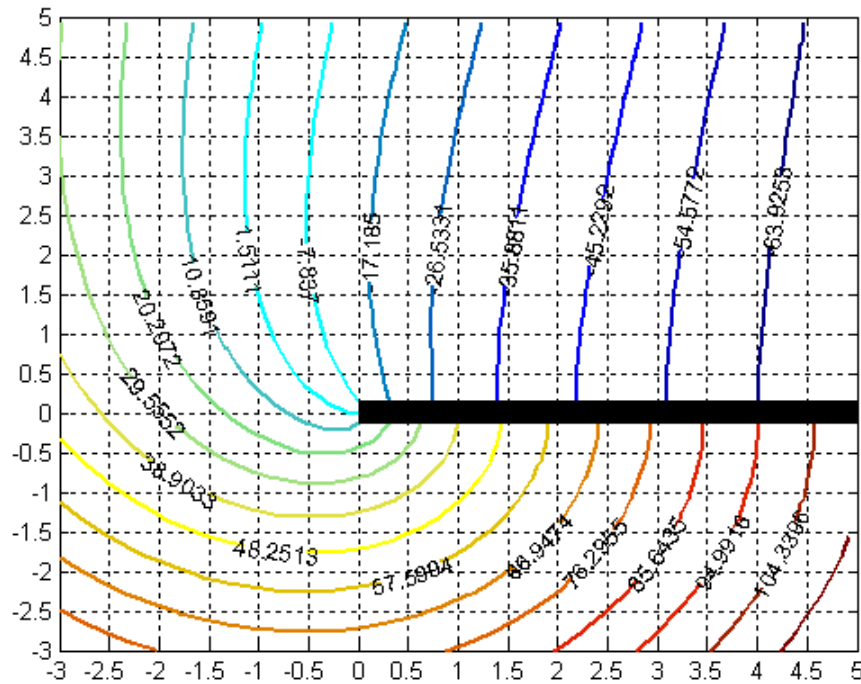


Рис. 6. Линии равных фаз компоненты N_z при дифракции падающей H -поляризованной плоской волны на идеально проводящей полуплоскости. Фаза падающей волны в точке на ребре принята равной нулю

Теперь можно ответить на вопрос, насколько должны отличаться фазы первой и второй волны при их входе в щель. Воспользуемся полученной линией равных фаз и нанесем на нее границы нижней области антенны и щели в полном соответствии с реальной геометрией (рис. 7).

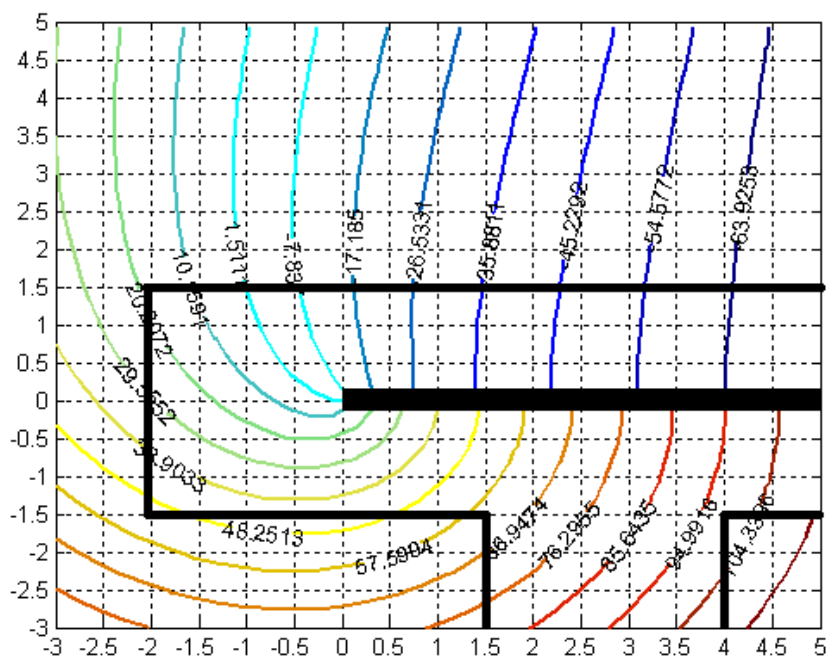


Рис. 7. Линии равных фаз компоненты N_z при дифракции падающей H -поляризованной плоской волны на идеально проводящей полуплоскости

На рис. 5, 6 и 7 цифрами на линиях показаны значения амплитуд и фаз волн в градусах. Теперь ясно, что для достижения хорошего согласования полосковой линии с антенной волна, которая распространяется в области выше полосковой линии, и волна, которая огибает полосковую линию передачи, в момент входа в щель должны отличаться по фазе примерно на 40 градусов. Чтобы убедиться в правильности полученных данных, аналогичные линии вычислялись для разных углов падения волны. Для нормального падения волны полученные результаты совпали с известными теоретическими.

Таким образом, с целью решения проблемы согласования резонаторной антенны в полосе частот необходимо продолжить исследования. Далее необходимо решить следующие задачи: локализовать электромагнитную энергию в области отверстия связи в процессе запитки объемного резонатора полосковой линией передачи и предложить конкретные способы согласования, обеспечивающие описанный электродинамический режим работы антенны. Этим вопросам будут посвящены будущие исследования.

Библиографический список

1. Думчев, И.А. Плоская резонаторная антенна с частично прозрачной поверхностью / И.А. Думчев // Наука. Технологии. Инновации. Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых в 7-ми частях. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – Часть. 1. – С. 228–230.
2. Planar antenna: евр. пат. 0489934: МКИ Н 01 Q 13/18 / Voytovich N. I. and others.; the Research institute on measuring technology, Chelyabinsk, Russia. – НКИ RU 2016444.
3. Думчев, И.А. Возбуждение плоской резонаторной антенны полосковой линией [Электронный ресурс] / И.А. Думчев, Н.И. Войтович // Наука ЮУрГУ: материалы 66-й научной конференции. Секции технических наук. – Электрон. текст. дан. (46,3 Мб). – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – С. 724–729.
4. Курушин, А.А. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. Учеб. пособие / А.А. Курушин, А.Н. Пластиков. – М.: Издательство МЭИ, 2010. – 160 с.
5. Борн, М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф; Пер. с англ. С.Н. Бреуса, А.И. Головашкина, А.А. Шубина; Под ред. Г.П. Мотулевич. – 2-е изд., испр. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1973. – 720 с.
6. MATLAB 7. Самоучитель. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 256 с.

[К содержанию](#)