

УДК 621.396.67

ВОЗБУЖДЕНИЕ ПЛОСКОЙ РЕЗОНАТОРНОЙ АНТЕННЫ ПОЛОСКОВОЙ ЛИНИЕЙ

И.А. Думчев, Н.И. Войтович

В результате проведенных исследований получена электродинамическая модель плоской резонаторной антенны, возбуждаемой полосковой линией передачи. Изучено поведение характеристик направленности антенны в зависимости от коэффициента передачи верхней стенки резонатора, выполнена проверка оптимальности выбора размера излучающих отверстий решетки. Исследовано согласование плоской резонаторной антенны с фидером.

Ключевые слова: резонаторная антенна; полосковая линия; объемный резонатор; частично прозрачная стенка; согласование.

Современная наука и техника характеризуется активным развитием беспроводных технологий. В связи с бурным прогрессом в данной отрасли весьма актуальной является задача разработки антенн, обладающих малыми массогабаритными параметрами, большим коэффициентом усиления, часто наличием круговой поляризации, высоким уровнем согласования антенны с фидером. Данным требованиям удовлетворяют плоские антенны. В зарубежных странах многие фирмы в течение последних двадцати лет занимаются разработкой плоских антенн. Но известные конструкции таких антенн имеют довольно существенные недостатки, поскольку в них применяются печатные излучатели и микрополосковые линии передачи.

Авторами ведутся исследования, конечной целью которых является разработка конкурентоспособных отечественных антенн нового типа, свободных от недостатков существующих аналогов. Это плоские антенны на основе объемного резонатора с частично прозрачными реактивными стенками. Один из объектов исследований – антенна, предложенная в патенте [1], предназначенная для работы в качестве излучающего элемента плоской антенной решетки для приема телевизионного сигнала со спутника в диапазоне 12 ГГц (рис. 1). Плоские резонаторные антенны имеют целый ряд неоспоримых достоинств, главные из которых – простота конструкции и преимущество электродинамических характеристик по сравнению с антеннами известных типов [2].

Исследуемая антенна представляет собой прямоугольный металлический резонатор, на верхней стенке которого прорезана система прямоугольных излучающих отверстий 5. Она 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.

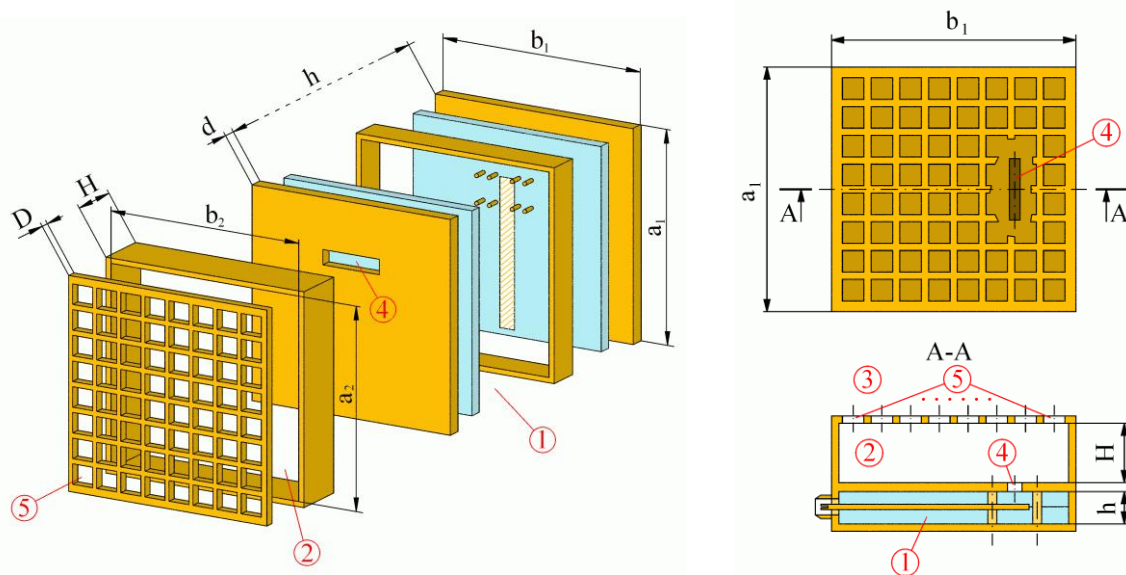


Рис. 1. Плоская резонаторная антенна с частично прозрачной стенкой:
1 – проходной резонатор; 2 – прямоугольный резонатор, на верхней стенке которого размещены излучающие отверстия 5 (частично прозрачная стенка), а на нижней – отверстие связи 4; 3 – внешнее по отношению к антенне пространство

Исследовано явление передачи электромагнитных волн через крышку антенны в виде тонкого экрана, сделанного из металлической периодической решетки (рис. 2). Для количественной характеристики прозрачности решетки антенны используется коэффициент передачи T электромагнитной энергии. Он характеризует напряженность электрического поля волны, прошедшей сквозь периодическую структуру, и зависит от формы и геометрических размеров элементов решетки (рис. 3).

В первоначальном варианте конструкции антенны [1] размеры излучающих отверстий решетки были подобраны экспериментально. В результате исследований изучено влияние величины коэффициента передачи на характеристики направленности плоской резонаторной антенны (зависимость коэффициента направленного действия (КНД) в диапазоне частот, амплитудные диаграммы направленности) и проведена проверка оптимальности выбора размера излучающих отверстий решетки. Для этого сначала были рассчитаны характеристики направленности для исходного размера излучающих отверстий ($c=8$ мм).

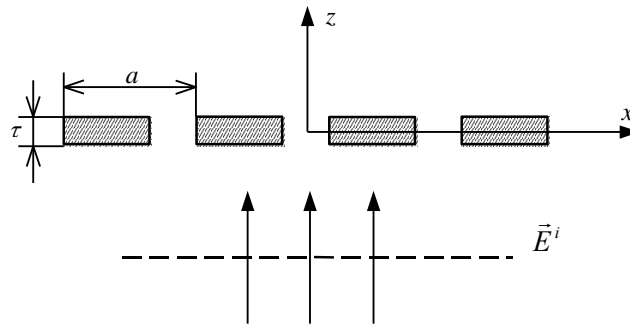


Рис. 2. Металлический экран, освещенный падающей плоской волной:
 τ – толщина экрана; a – период решетки

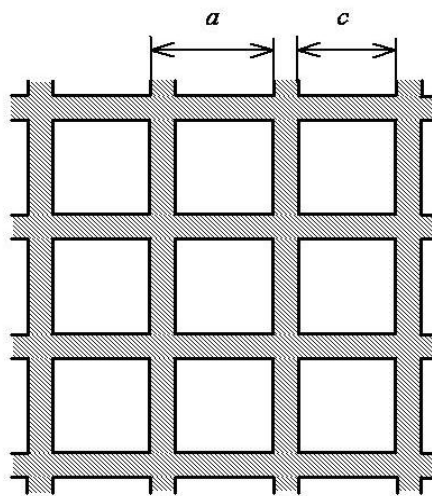


Рис. 3. Фрагмент крышки резонаторной антенны,
выполненной в виде металлической периодической решетки:
 a – период решетки; c – размер излучающего отверстия

Величина коэффициента передачи T получена аналитически с применением программного пакета MATLAB по приближенной формуле Чена, приведенной в [3]. Далее менялась прозрачность решетки путем изменения размера c излучающих отверстий и рассчитывались характеристики направленности. Проведено сравнение КНД в диапазоне частот и диаграмм направленности в плоскостях векторов напряженности электрического поля \vec{E} и магнитного поля \vec{H} для различных значениях параметра c . В результате выяснено, что оптимальные для работы характеристики направленности обеспечивает решетка, у которой размер излучающих отверстий равен 8 мм при шаге решетки 11,25 мм. То есть размер данного элемента конструкции изначально был выбран оптимальным. Величина коэффициента передачи при этом равна 0,42.

Среди всех требований к антеннам современных радиосистем решающее значение имеют два: направленность действия и минимальные потери электромагнитной мощности при работе в режиме приема-передачи. Обеспечение выполнения второго требования полностью зависит от построения антенно-фидерного тракта, согласования фидерной линии с антенной. Слово «фидер» происходит от английского «to feed» – питать. Фидер не всегда можно непосредственно подключить к антенне, минуя согласующее устройство. Вопрос его выполнения – один из основных при конструировании антенн. Он направлен главным образом на уменьшение потерь в фидере путем обеспечения в нем режима, близкого к режиму бегущей волны. Основная фидерная линия, как правило, самая протяженная. Поэтому именно ее желательно возможно лучше согласовать с нагрузкой (антенной). Целью согласования является выполнение сразу двух условий:

- добиться отсутствия реактивной составляющей во входном сопротивлении антенны на резонансной частоте (12,5 ГГц);
- добиться равенства волнового сопротивления антенны и фидера.

Если эти условия выполняются в месте запитки антенны (точка соединения антенны с фидером), то фидер работает в режиме бегущей волны.

Для того, чтобы предложить конкретные способы согласования данной резонаторной антенны, сначала изучен процесс перехода электромагнитной энергии от полосковой линии в область резонатора, который позволяет объяснить механизм возбуждения щели (отверстия связи). В результате было выяснено, что реактивные штыри в антенне, которые окружают отверстие связи и замыкают экраны полосковой линии, не справляются со своей функцией. Роль данных штырей – предупредить распространение электромагнитной энергии в нижней области антенны (т.е. локализовать ее в области отверстия связи) при возбуждении объемного резонатора полосковой линией передачи.

С этой целью посредством электродинамического моделирования [4] вычислены и проанализированы анимационные картины поля в сечении антенны, проходящем чуть выше полосковой линии передачи, в случае, когда отверстие связи окружено штырями (рис. 4). Такой анализ проведен для подобранного значения выступа полоски за центр щели на частоте, когда наблюдается согласование (12,5 ГГц), и для частоты, когда оно отсутствует, например, 12 ГГц (рис. 5).

На рис. 6а и 6б приведены изображения анимационных картин поля в момент времени с фазой π для подобранного выступа полосковой линии за центр щели на частотах 12,5 и 12 ГГц, соответственно.

Анализ приведенных картин электромагнитных полей позволяет сделать очень важный вывод. Когда отверстие связи окружают металлические штыри, то в случае и хорошего, и плохого согласования антенны с фидером в нижней области наблюдаются стоячие волны.

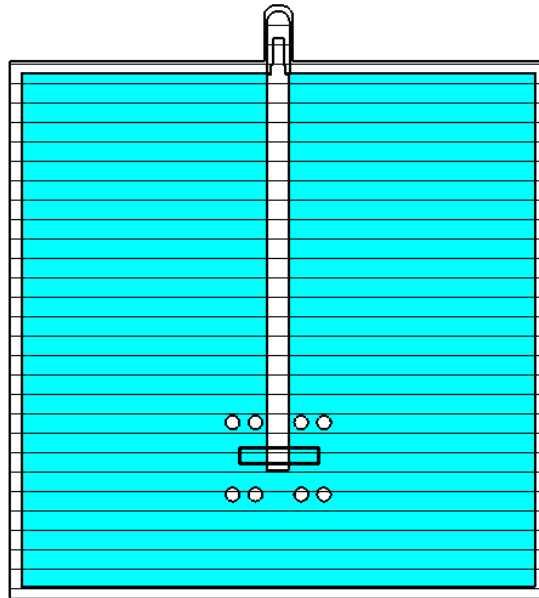


Рис. 4. Сечение антенны в плоскости полосковой линии, окруженной металлическими штырями

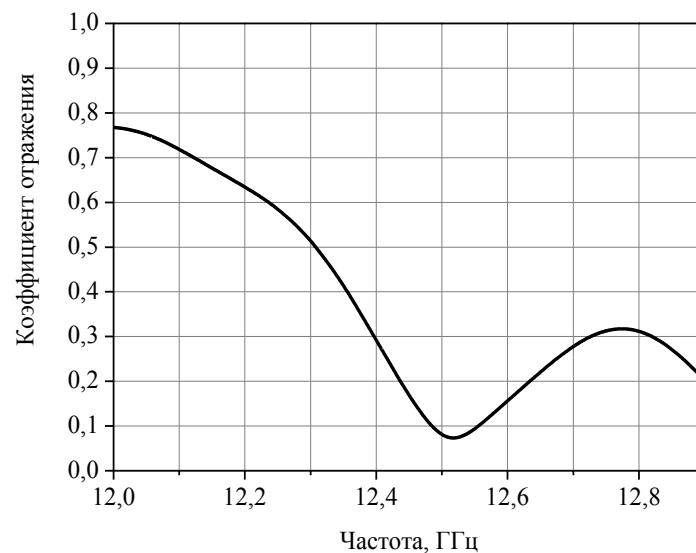


Рис. 5. Зависимость коэффициента отражения от частоты для выбранного значения выступа полоски за центр щели

Этот факт означает, что нижняя область антенны в этом случае работает как резонатор, в результате чего нижняя и верхняя области начинают обмениваться между собой электромагнитной энергией. То есть штыри не выполняют своего первоначального назначения. Если теперь такую резонаторную антенну использовать в качестве излучающего элемента в антенной решетке, то боковые стенки антенны (назовем их периферийными экранами) необходимо удалить. Но тогда срываются колебания во внутренней области, а стало быть, нарушается согласование полосковой линии с антенной. В результате антенная решетка не обеспечит получение максимального коэффициента направленного действия.

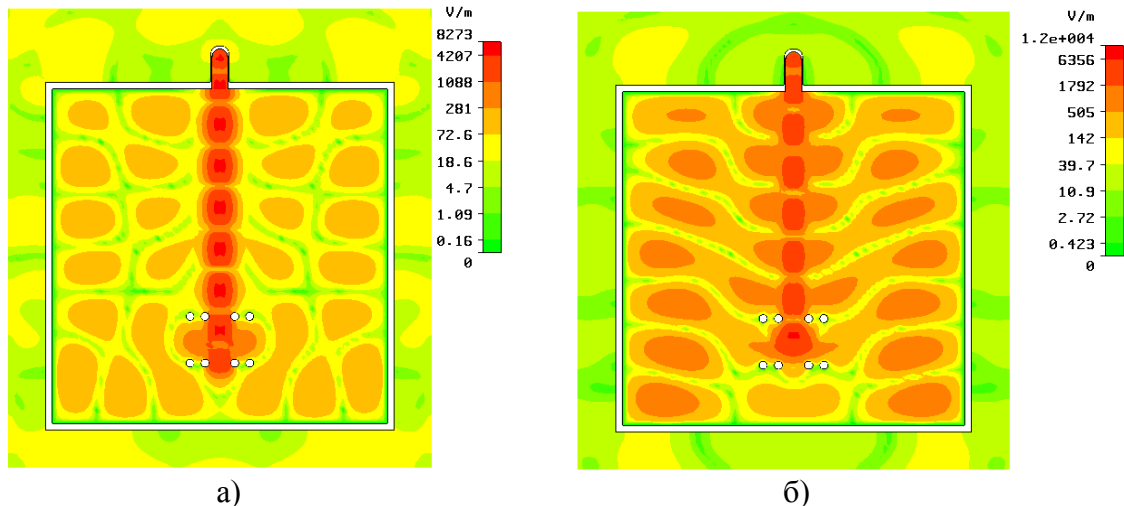


Рис. 6. Структура поля в момент времени с фазой π в сечении антенны, проходящем чуть выше полосковой линии передачи:
а) на частоте 12,5 ГГц; б) на частоте 12 ГГц

Очевидно, что с целью решения проблемы согласования резонаторной антенны с фидером необходимо в процессе запитки объемного резонатора полосковой линией передачи сначала локализовать электромагнитную энергию в области отверстия связи. Далее предложить конкретные способы согласования антенны. Решению данных задач будут посвящены дальнейшие исследования.

Таким образом, необходимо продолжить проведенные исследования с целью решения проблемы согласования и устранения выявленных недостатков в исследуемой конструкции резонаторной антенны.

Библиографический список

1. 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.
2. 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.
3. Lee, S., Zarrillo G., Law C. Simple formulas for transmission through periodic metal grids or plates / S. Lee, G. Zarrillo, C. Law // IEEE Transactions on antennas and propagation. – 1982. – V. AP-30, № 5. – Pp. 908.
4. Потапов, Ю.В. CST Microwave Studio 5.0 / Ю.В. Потапов // EDA EXPERT. – 2004. – Вып. 4. – С. 36–41.

[К содержанию](#)