

КОМПАКТНЫЙ ДВУХДИАПАЗОННЫЙ КОАКСИАЛЬНЫЙ ОБЛУЧАТЕЛЬ С СУЩЕСТВЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ РАЗНЕСЕНИЕМ

В статье рассмотрен компактный двухдиапазонный коаксиальный облучатель для возбуждения рефлекторной антенны сантиметрового (СВЧ) и миллиметрового (КВЧ) диапазонов. Рабочие частоты имеют существенное частотное разнесение, равное 10:1. Приводится описание конструкции двухдиапазонного облучателя совместно с фидерным трактом. Для двух рабочих диапазонов представлены диаграммы направленности (ДН) в главных сечениях и кросс-поляризационные диаграммы.

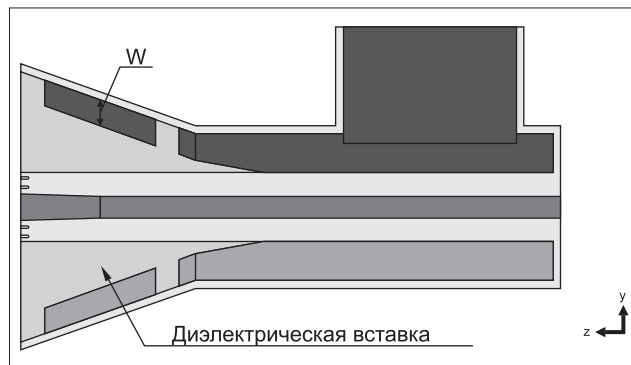
ВВЕДЕНИЕ

Рефлекторные антенные системы, работающие одновременно в нескольких частотных диапазонах, по-прежнему представляют особый интерес [1–6]. Обычно облучатели имеют частотное разнесение не более 5:1, в настоящей работе описывается модель компактного двухдиапазонного коаксиального облучателя, который имеет частотное разнесение 10:1.

Диапазонные свойства рефлекторных антенн в основном определяются диапазонными характеристиками излучения облучателя. Наиболее важное требование при разработке двухдиапазонного облучателя — это совпадение фазовых центров для разных частотных диапазонов. Немаловажно, чтобы в каждом частотном диапазоне облучатель имел осесимметричные диаграммы направленности (ДН) равной ширины в вертикальной (Е) и горизонтальной (Н) плоскостях, низкий уровень бокового и кросс-поляризационного излучения, а также равенство ширины ДН в двух частотных диапазонах.

В качестве облучателя в СВЧ-диапазоне используется коаксиальный рупор [4, 5, 7, 8], а в КВЧ диапазоне — конический рупор [9–12]. В коаксиальном рупоре сантиметрового диапазона установлена диэлектрическая вставка с воздушным зазором, благодаря которой формируется ДН с равной шириной в Е- и Н-плоскостях [5, 7]. Для уменьшения уровня бокового и кросс-поляризационного излучения конического рупора миллиметрового диапазона применяются две четвертьволновые короткозамкнутые кольцевые канавки [11, 12].

Коаксиальный и конический рупоры возбуждаются волной типа H_{11} в коаксиальном и круглом волноводе соответственно.



▲ Рис. 1. Продольное сечение двухдиапазонного облучателя

Электрические поля в двух рупорах имеют общую плоскость поляризации. Волна типа H_{11} в коаксиальном волноводе возбуждается с помощью специального коаксиально-волноводного перехода (КВП) [8, 13, 14], который обеспечивает хорошее подавление ТЕМ-волны и волн высшего типа. Волна типа H_{11} в круглом волноводе возбуждается с помощью плавного перехода от прямоугольного волновода [13].

Расчеты характеристик двухдиапазонного облучателя проводились в программной среде CST Microwave Studio. В статье представлены основные характеристики излучения в двух частотных диапазонах. Рассматривается вопрос улучшения согласования и расширения рабочей полосы облучателя в СВЧ-диапазоне.

МОДЕЛЬ ДВУХДИАПАЗОННОГО КОАКСИАЛЬНОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ

В основе конструкции двухдиапазонного облучателя лежит идея размещения в центральном проводнике коаксиального рупора сантиметрового диапазона конического рупора и тракта миллиметрового диапазона. Продольное сечение двухдиапазонного облучателя совместно с фидерным трактом представлено на рис. 1. Коаксиальный рупор возбуждается волной типа H_{11} в коаксиальном волноводе, а конический рупор — волной типа H_{11} в круглом волноводе. Электромагнитные поля, возбуждаемые в рупорах сантиметрового и миллиметрового диапазонов, имеют общую плоскость поляризации. Первостепенным условием при выборе геометрических размеров (диаметр раскрытия и длина рупора) коаксиального и конического рупоров является совпадение их фазовых центров. Вторичным условием — примерное равенство ширины ДН в двух частотных диапазонах.

Внутренний и внешний диаметр коаксиального волновода выбраны из условия распространения волны типа H_{11} . Волны типа H_{11} в коаксиальном рупоре возбуждается с помощью прямоугольного волновода, расположенного вдоль оси коаксиального волновода [8, 13, 14]. Данная конструкция КВП обеспечивает высокий уровень возбуждения волны H_{11} в коаксиальном волноводе, а основной тип волны (Т-волна) и волны высшего типа практически не возбуждаются. Волны типа H_{11} в коническом рупоре возбуждается с помощью плавного перехода от прямоугольного сечения волновода к круглому.

Внутри коаксиального волновода могут одновременно возбуждаться две ортогональные линейно поляризованные волны H_{11} . Для подавления волны с горизонтальной поляризацией в горизонтальной плоскости (XOZ) установлены тонкие металлические пластинки, расположенные в области пересечения прямоугольного волновода и коаксиального волновода и имеющие электрический контакт с внутренним и внешним проводником коаксиального волновода, а также с короткозамкнутой стенкой на торце коаксиального волновода. Изменяя длину металлических пластинок и положение короткозамкнутой стенки, можно добиться подавления волны H_{11} с нежелательной поляризацией более 40 дБ.

Для улучшения согласования металлические пластинки в работе [14] имеют на краю клинообразную форму. В результате компьютерного моделирования было выяснено, что использование пластинок такой же площади, но прямоугольной формы на краю не приводит к ощутимому ухудшению согласования. Пластинки прямоугольной формы легче изготовить, и отсутствие острых углов повышает электропрочность КВП в целом. Для достижения более широкополосного согласования посередине широкой стенки прямоугольного волновода вблизи места соединения с коаксиальным волноводом можно установить емкостной штырь. Использование двух штырей, как описано в работе [14], приводит к тем же результатам, что и один штырь большей длины. Настройка КВП одним емкостным штырем очевидно проще.

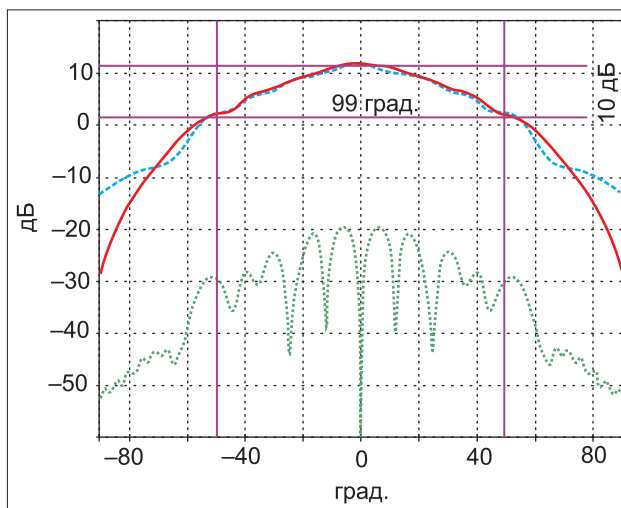
В раскрытие коаксиального рупора сантиметрового диапазона установлена диэлектрическая вставка, имеющая воздушный зазор с внешним проводником [2, 7]. Наличие зазора приводит к возбуждению волны типа E_{11} , которая накладывается на волну типа H_{11} , и таким образом формируется гибридная волна. Варьируя ширину зазора w , подбирают такое амплитудное и фазовое распределение поля, которое обеспечивает формирование ДН с равной шириной в E- и H-плоскостях. В качестве одного из критериев выбора значения ширины зазора w необходимо учитывать уровень кросс-поляризационной составляющей. Для уменьшения уровня бокового и кросс-поляризационного излучения конического рупора миллиметрового диапазона используются две четвертьволновые короткозамкнутые кольцевые канавки [11, 12].

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

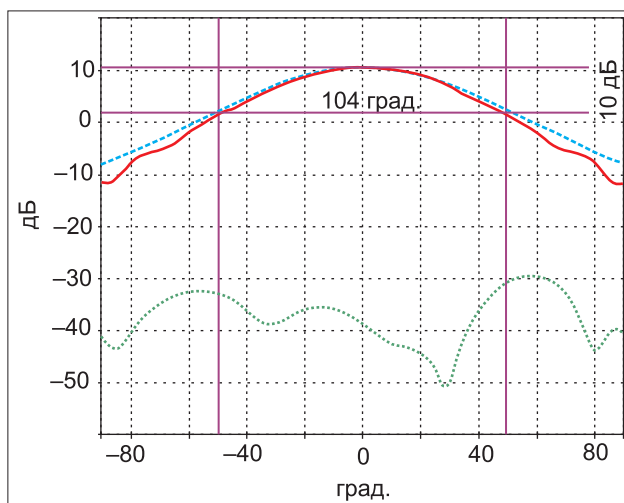
Моделирование и расчет характеристик двухдиапазонного облучателя совместно с фидерным трактом проводились в программном пакете CST Microwave Studio с точностью $\lambda/10$ и $\lambda/60$ для сантиметрового и миллиметрового диапазонов соответственно. Для достижения наилучших результатов был использован алгоритм оптимизации модели.

По результатам моделирования расхождение фазовых центров вдоль оси излучения рупоров сантиметрового и миллиметрового диапазонов не превышает 0,1 мм. ДН двухдиапазонного облучателя в вертикальной и горизонтальной плоскостях для сантиметрового и миллиметрового диапазонов представлены на рис. 2 и 3 соответственно. В каждом частотном диапазоне расхождение по ширине ДН в E- и H-плоскостях по уровню -10 дБ не более $1,5^\circ$. Между частотными диапазонами расхождение по ширине ДН по уровню -10 дБ не более 5° . На этих же графиках построены кросс-поляризационные диаграммы рупоров в E-плоскости. Максимальный уровень кросс-поляризации не превышает величины -30 дБ в СВЧ-диапазоне и -20 дБ в КВЧ-диапазоне.

Величина коэффициента передачи КВП для TEM-волны и волн высшего типа не превышает уровня -50 дБ в рабочем диапазоне частот. В сантиметровом диапазоне для облучателя без емкостного штыря было получено значение КСВ 1,05 на центральной частоте и не более 1,4 в диапазоне частот $\pm 0,2$ ГГц. Использование емкостного штыря позволяет рас-



▲ Рис. 2. Характеристики излучения двухдиапазонного облучателя в миллиметровом диапазоне: (—) — ДН в горизонтальной плоскости, (- -) — ДН в вертикальной плоскости, (***) — уровень кросс-поляризации



▲ Рис. 3. Характеристики излучения двухдиапазонного облучателя в сантиметровом диапазоне: (—) — ДН в горизонтальной плоскости, (- -) — ДН в вертикальной плоскости, (***) — уровень кросс-поляризации

ширить рабочую полосу и получить КСВ не более 1,4 в диапазоне $\pm 0,35$ ГГц, но на центральной частоте значение ухудшается до 1,2. В миллиметровом диапазоне КСВ облучателя не превышает значения 1,05 в рабочем диапазоне частот.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе детально разобрана конструкция двухдиапазонного облучателя и фидерного тракта. Предложенная конструкция отличается небольшими габаритами. Двухдиапазонный облучатель имеет в обоих частотных диапазонах отличные характеристики излучения и согласования и может использоваться в различных антенных системах оптического типа. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Rao S. K., Verdes R. P., Hsu C.-C. US patent No. US 8,957,821 B1. Dual-band feed horn with common beam widths. 17.02.2015.
2. Dubrovka F. F., Dubrovka R. F., Ovsianuk Yu. A. UA patent application No. a2007 03407. Multiband Coaxial Horn System. 29.03.2007.
3. Paul Wade Improving the dual-band 10 & 24 GHz feed horn for offset dishes. W1GHZ, 2004.
4. Дубровка Ф. Ф., Овсяник Ю. А. Дво-та багатодіапазонні рупорні опромінювачі дзеркальних антен//Вісник Національного технічного університету України (КПІ). Серія «Радіотехніка. Радіоапаратобудування». 2009. № 38.

5. Dubrovka F. F., Dubrovka R. F., Ovsianuk Yu. A. A novel multiband coaxial feed system with low cross-polar radiation. *The second European Conference on Antennas and Propagation*, 2007.
6. Горобец Н. Н., Елизаренко А. А. Характеристики направленности многодиапазонных комплексированных конических рупорных антенн с одинаковой шириной главного лепестка диаграммы направленности//Вестник Харьковского национального университета (ХНУ) им. В. Н. Каразина. Серия «Радиофизика и электроника». 2013. № 23.
7. Галкина Э. В., Михайлов А. Н. Конструкция двухканального диэлектрически заполненного облучателя//Вестник Ярославского ВВУ ПВО. 2017. № 1.
8. Галкина Э. В., Назаров В. С. Компактная двухдиапазонная антенно-фидерная система СВЧ и КВЧ диапазонов. Материалы 28-й Международной Крымской конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Т. 3. Севастополь, 2018.
9. Жук М. С., Молочков Ю. Б. Проектирование антенно-фидерных устройств. М.–Л.: Изд-во Энергия, 1966.
10. Фрадин А. З. Антенно-фидерные устройства. М.: Связь, 1977.
11. Potter P. A. New horn antenna with suppressed sidelobes and equal beamwidths//*Microwave Journal*. 1963. Vol. 6.
12. Balanis C. A. *Modern Antenna Handbook*. USA, John Wiley & Sons, 2008.
13. Линии передачи сантиметровых волн. Пер. с англ. под ред. Ремеза Г. А. М.: Советское радио, 1951.
14. Dubrovka F. F., Vasylenko D. O. A novel broadband coaxial orthomode transducer with high port isolation. *International Conference on Antenna Theory and Techniques*. Ukraine, 2009.