

Ю.О. АВETИСЯН, А.А. АХУМЯН, В.Р. ТАТЕВОСЯН, А.К. МЕЛИКЯН

ЧАСТОТНО - СКАНИРУЮЩАЯ АНТЕННА НА ОСНОВЕ ЗЕРКАЛЬНОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ ЩЕЛЯМИ

Разработана новая антенна с частотным управлением направления основного излучения, основанная на применении зеркального волновода с периодическими неоднородностями. Изменением частоты в диапазоне 36...54 ГГц достигнуто сканирование главного лепестка в пределах 70°. При этом угловая ширина лепестка не превосходила 2° в Е-плоскости. Экспериментальные данные находятся в хорошем согласии с расчетными.

Ключевые слова: антенна, миллиметровый диапазон, зеркальный волновод.

В последние годы в связи с задачей создания радиолокаторов с высокой разрешающей способностью резко возрос интерес к разработке антенн миллиметрового диапазона волн (ММДВ) с быстрым сканированием диаграммы направленности (ДН). Как правило, в радиолокационных системах слежения движущихся объектов сканирование ДН производится либо механическим поворотом антенны, либо с помощью электрически управляемых фазовращателей в составе антенной решетки. Основным недостатком первого способа является малое быстродействие, а практическая реализация антенных решеток ММДВ связана с известными трудностями ввиду больших потерь в микрополосковых и металлических волноводах [1]. В настоящее время развитие полупроводниковой техники позволило создать целый ряд широкополосных приемо-передающих устройств ММДВ. В этой связи представляет интерес разработка новых антенн ММДВ с управлением направления главного лепестка ДН путем изменения частоты сигнала. Очевидно, что такие антенны могут быть выполнены на основе волноводов с сильной дисперсией. В настоящее время в ММДВ широко применяются диэлектрические волноводы (ДВ), в которых распространение волны сопровождается достаточно низким затуханием за счет использования диэлектриков с малыми потерями, и, кроме того, определенная часть электромагнитного поля распространяется в приграничной воздушной области. Частотно-сканирующая антенна на основе ДВ с дифракционной решеткой была исследована в работе [2]. Угол сканирования составлял около 40° и ограничивался условием одномодовости распространения волны в ДВ.

В настоящей работе нами предлагается использовать зеркальный диэлектрический волновод (ЗДВ), который, как известно [3, 4], имеет достаточно разряженный модовый состав и обладает тем достоинством, что металлическое зеркало волновода способно выполнять роль опоры и теплоотвода. Для эффективного испускания волны с поверхности ЗДВ (т.е. для обеспечения утечки волны из волноводной моды в радиационную) в металлическом основании волновода выполняются периодические неоднородности –

вырезаются поперечные щели глубиной порядка $\lambda_0/4$, где λ_0 - средняя длина в рабочем диапазоне частот. Картина ЗДВ с периодическими щелями в металлическом основании представлена на рис. 1.

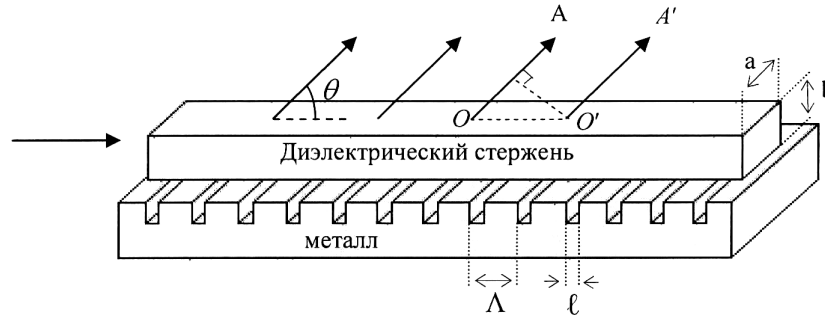


Рис.1. Схематическое изображение ЗДВ с периодическими неоднородностями

Для определения условия излучения поле в периодическом ЗДВ представим в виде суммы пространственных гармоник [5]:

$$E = \sum_p E_p(x, y) e^{i(\omega t - \beta_p z)}, \quad (1)$$

где направление z выбрано вдоль оси волновода, и

$$\beta_p = \beta_0 + \frac{2\pi}{\Lambda} p, \quad p = 0, \pm 1, \pm 2 \dots, \quad (2)$$

p - номер пространственной гармоники; β_0 - фазовая постоянная основной пространственной гармоники; Λ - период повторения неоднородностей.

Пользуясь понятием эффективного показателя преломления, формулу (2) представим в виде

$$n_p = n_{\text{eff } 0} + \frac{\lambda}{\Lambda} p, \quad p = 0, \pm 1, \pm 2 \dots, \quad (3)$$

где $n_p = \beta_p / k_0$ - эффективный показатель преломления p -й пространственной гармоники; $k_0 = 2\pi / \lambda$ - волновое число в свободном пространстве; λ - длина волны.

Для определения направления возможного испускания волны рассмотрим взаимодействие лучей OA и OA' (рис. 1). Для конструктивной интерференции необходимо, чтобы разность фаз была равна нулю, т.е.

$$\beta_p \cdot OO' = k_0 \cdot OO' \cos \theta. \quad (4)$$

Отсюда следует, что угол распространения излучения определяется условием: $\cos \theta = \beta_p / k_0 = n_p$. Очевидно, что ответственными за излучение из волновода являются пространственные гармоники с $|n_p| < 1$. При проектировании

антенны целесообразно выбрать период Λ так, чтобы вышеуказанное условие удовлетворялось только для одной гармоники с возможно малым индексом p . Как видно из формулы

$$\cos \theta = n_p = n_{\text{eff}0} + \frac{\lambda}{\Lambda} p, \quad (5)$$

наименьшее возможное значение $p = -1$, поскольку, как правило, $n_{\text{eff}0} > 1$.

Необходимо иметь в виду, что пространственные гармоники являются группой неотделимых волн, и, следовательно, излучение одной гармоники сопровождается излучением всего поля. Возможность частотного сканирования направлением главного максимума ДН явно следует из уравнения (5), а соответствующий график зависимости $\theta = \theta(\lambda)$ представлен на рис. 2.

Экспериментальные измерения частотно-сканирующей антенны на основе ЗДВ осуществлялись с помощью панорамного измерителя коэффициента стоячей волны (КСВ) и ослабления Р2-68. В качестве диэлектрика ЗДВ использовался поликорундовый ($\epsilon = 9,6$, $\text{tg} \delta = 10^{-3}$) стержень длиной $L = 12,5$ см с поперечными размерами $a \times b = 1,2 \times 2,4$ мм, определяющими одномодовый режим распространения волны E_{11} (ось y перпендикулярна плоскости основы) в диапазоне волн 5,5 ... 8 мм. Металлической основой ЗДВ служили алюминиевые пластины, в которых вырезались щели с периодом $\Lambda = 2,5$ мм, длинами $\ell = 0,5$ мм и 1,25 мм.

Регистрация излучения, испускаемого с поверхности ЗДВ, проводилась с помощью рупорной антенны с коэффициентом усиления 20 дБ, установленной на поворотном устройстве. Результаты измерений в случаях $\ell = 0,5$ мм и $\ell = 1,25$ мм представлены на рис.2 соответственно в виде крестов и кружочков.

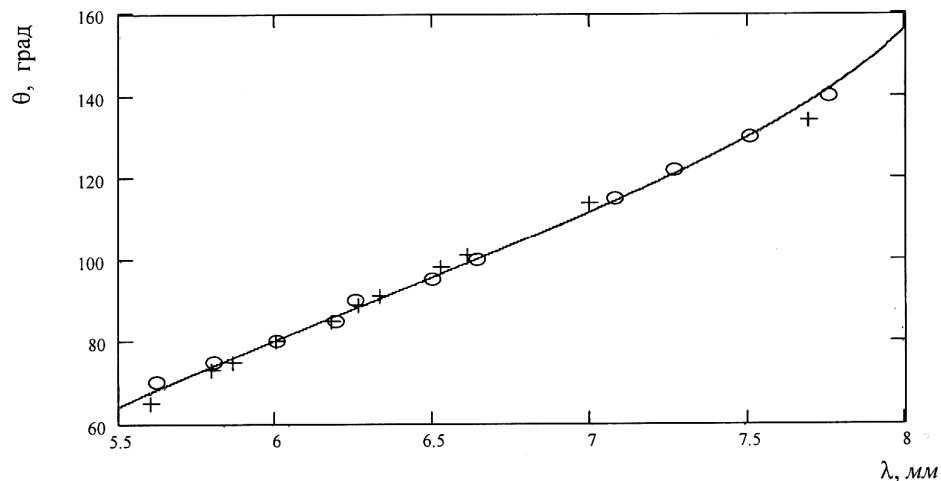


Рис.2. Зависимость угла испускания излучения от длины волны при длинах щелей 0,5 мм (+) и 1,25 мм (о)

Видно, что угловой интервал сканирования составляет 70° и имеет место хорошее согласование между экспериментальными и рассчитанными (сплошная кривая) данными. В расчетах были использованы численные значения $n_{\text{эфф}}$, полученные в результате решения дисперсионного уравнения однородного ЗДВ. Хотя такой подход кажется несправедливым при $\ell = 1,25$ мм (размер возмущенной области уже не является малым), однако в пределах погрешности эксперимента ($\Delta\theta \approx \pm 0,2^\circ$, $\Delta\lambda \approx 0,01$ мм) не было обнаружено расхождение между расчетными и экспериментальными данными.

Использование длинных щелей ($\ell = 1,25$ мм, т.е. $\ell / \lambda = 0,5$) интересно тем, что эффективность излучения (отношение мощности испускаемого излучения к мощности на входе ЗДВ) в этом случае высока. Согласно измерениям, эффективность излучения при $\ell = 1,25$ мм на 5 дБ превосходит случай, когда $\ell = 0,5$ мм, и составляет ≈ 10 дБ. Последнее означает, что около 90 % мощности на входе ЗДВ излучается в свободное пространство, если не принимать в расчет джоулевские потери и рассогласование на входе ($K_{\text{СВ}} < 1,2$). Диаграмма направленности антенны имела веерообразный вид; угловая ширина главного максимума (на уровне 3 дБ) составляла примерно 2° , что хорошо согласуется с теоретической оценкой.

В заключение отметим, что при замене в периодическом ЗДВ линейного диэлектрика на нелинейный можно получить генерацию излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн посредством генерации разностной частоты (ГРЧ) двух частотно-расстроенных лазеров. В предлагаемой конструкции можно ожидать достаточно высокоэффективную ГРЧ, поскольку генерируемая волна испускается с поверхности нелинейного кристалла, и, следовательно, она практически не испытывает материального поглощения в нелинейной среде [6].

Таким образом, на основе ЗДВ с периодическими неоднородностями можно создать антенну с частотным управлением направления основного излучения. Предложена простая теоретическая модель, хорошо объясняющая экспериментальные данные. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о перспективности разработанной антенны в задачах радиолокации и построения изображений в ММДВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Marino R.A.** A Novel Tapered Slot PCS Antenna Array and Model //Microwave Journal.- 1999.- V. 42, N1. - P. 90-100.
2. **Klohn K.L., Horn R.E., Jacobe H., Freibergs E.** Silicon Waveguide Frequency Scanning Linear Array Antenna //IEEE Trans. Microwave Theory Tech.-1978.-V.26,N10. -P. 764-773.
3. **Ishii T. K.** //Handbook of Microwave Technology. -1995. - V. 1, Academic press.
4. **Solbach K., Wolff I.** The Electromagnetic Field and the Phase Constants of Dielectric Image Lines //IEEE Trans. Microwave Theory Tech.- 1978. -V. 26, N4. -P. 266-274.
5. **Peng S.T., Tamir T., Bertoni H. L.** Theory of Periodic Dielectric Waveguides //IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech. -1975. - V. 26. -P. 123-133.
6. **Avetisyan Yu., Hakhoumian A., Melikyan H., Tatevosyan V., Ito H., Sasaki Y.** A New Scheme of THz-Wave Difference-Frequency Generation In Highly-Absorbing Cubic Nonlinear Crystal //Tech. Dig. CLEO. - 2005 (to be published).

ЕГУ. Материал поступил в редакцию 10.10.2004.

**ՅՈՒ.Հ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ա.Ա. ՀԱԽՈՒՄՅԱՆ, Վ.Ռ. ԹԱԴԵՎՈՍՅԱՆ,
Հ.Կ. ՄԵԼԻԿՅԱՆ**

**ՀԱՃԱԽԱՑԻՆ ՃՈՃՔՈՎ ԱԼԵԱՐՉԱԿ՝ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ՃԵՂՔԵՐՈՎ ՀԱՅԵԼԱՑԻՆ
ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿ ԱԼԻՔՍԱՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ**

Նախագծվել է նոր՝ ճառագայթման ուղղվածության հաճախային դեկավարմամբ ալեարձակ՝ պարբերական անհամասեռություններով հայելային դիլեկտրիկ ալիքատարի կիրառմամբ: Հաճախությունների 36...54 ԳՀց տիրույթում իրականացվել է ուղղորդվածության դիագրամի գլխավոր թերթիկի ճոճք 70°- ի սահմաններում, ընդ որում՝ թերթիկի անկյունային լայնությունը E- հարթությունում չի գերազանցել 2°: Փորձարարական տվյալները համընկնում են տեսական հաշվարկներին:

**Yu.H. AVETISYAN, A.A. HAKHOUMIAN, V.R. TADEVOSYAN,
H.K. MELIKYAN**

**FREQUENCY SCANNING ANTENNA BASED ON DIELECTRIC IMAGE WAVEGUIDE
WITH PERIODICAL SLOTS**

A new frequency scanning antenna based on dielectric image waveguide with periodical slots is suggested. In the frequency range 36 ... 54 GHz the angle of scanning within 70° has been realized, and the angular width of the main lobe did not exceed 2° in the E - plane. Experimental data are in good agreement with calculations.