

УДК 621.396.677.494

А. П. ДОРОХОВ, канд. техн. наук,
П. Л. ТОКАРСКИЙ, Н. И. ПРОТОПОПОВ**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛОСКОВЫХ МНОГОВИБРАТОРНЫХ
АНТЕННЫХ РЕШЕТОК**

С появлением листовых СВЧ диэлектриков с малыми потерями появилась возможность изготавливать вибраторные антенные решетки сантиметрового диапазона волн печатным способом. В настоящей работе описаны результаты исследования параметров полосковых антенн четырех вариантов.

Исследуемые антенны состояли из антенного полотна *I*, рефлектора *2* и разъема *3* с полосково-коаксиальным переходом и симметрирующим стаканом *4* (рис. 1, *a*). Полотна антенн типа *I*, *III*, *IV* (рис. 1, *b*) выполнены из фольгированного с двух сторон армированного фторопласта-4 (ФАФ-4), а антенны типа *II* — из материала ПТ-7. На листах фотохимическим способом вытравлены вибраторы *I* и питающий их фидер *2*. Антенны типа *I*, *III* и *IV* наносились симметрично с обеих сторон листа, антенны типа *II* — с одной стороны, а другая его сторона была покрыта сплошной фольгой и служила рефлектором.

Вибраторы *I* в антеннах типа *III* и *IV* питаются по параллельным (двоичным) схемам, а в секциях антенн типа *I* и *II* — последовательным. Секции соединяются между собой по двоичной схеме. Две стороны вибраторов антенн *I*, *III*, *IV* соединены перемычками *5*. Рефлекторы этих антенн удалены от полотна на расстояние четверти длины волны.

Чтобы вибраторы секций *I* и *II* возбуждались синфазно, расстояние d между ними выбрано равными длине волны в линии. В секции *I* оно равно $0,76 \lambda_0$, а в секции *II* в случае применения материала ПТ-7 ($\epsilon' = 7$) $d \approx 0,5 \lambda_0$. В секциях *III* и *IV* все расстояния между вибраторами примерно равны $0,5 \lambda_0$. В разветвлениях питающих линий всех секций применены согласующие четвертьволновые трансформаторы *4*.

Целью экспериментальных исследований антенн было изучение направленных свойств и энергетических характеристик антенных решеток.

До исследований опытным путем определялись размеры элементов антенн: вибраторов, питающих линий, шлейфов. Как и следовало ожидать, присутствие диэлектрика привело к укорочению длины волны в элементах антенн. В антеннах типа I

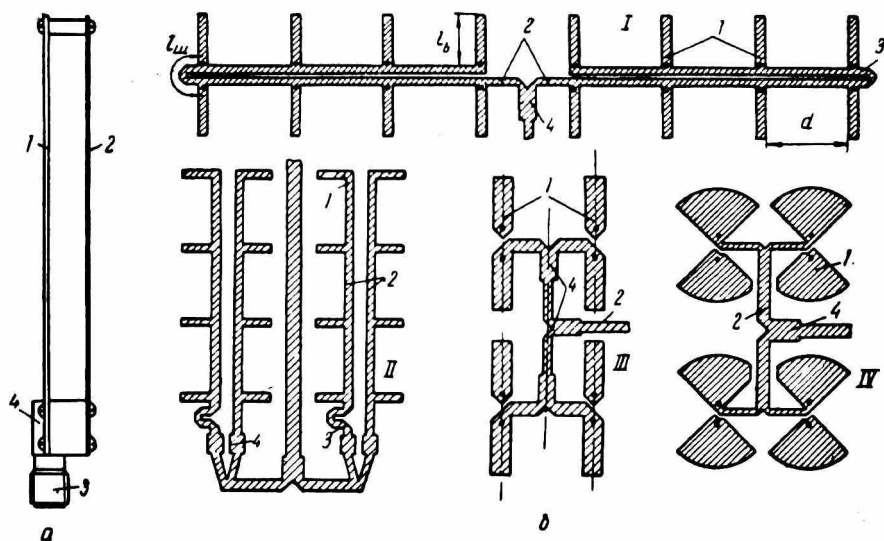


Рис. 1. Характеристики антенн типа IV:

a — диаграмма направленности (— — расчет, — — эксперимент);
 $n_E \times n_H = 4 \times 8$, $f = f_0$; *b* — к. б. в. в питающем фидере (— — — $n_E \times n_H = 4 \times 8$,
 $n_E \times n_H = 8 \times 16$).

коэффициенты укорочения k_y линий, вибраторов и шлейфов составляли 1,31, 1,15 и 1,28 соответственно, k_y вибраторов антенны

Варианты антенн	Количество излучателей		$\left(\frac{2\Delta f}{f_0}\right)_\xi$	ξ , дБ		$\frac{E_{km}}{E_{om}}$, дБ		Измерение к. б. в.		G
	n_E	n_H		пл. E	пл. H	пл. E	пл. H	к. б. в.	$\frac{2\Delta f}{f_0}$	
I	2	4	4,5	—	-10	-10	-10	—	—	—
	4	8	2,5	-13	-13	-13	-13	—	—	—
II	8	8	2,5	-12	-12	-7	-7	—	—	—
III	4	8	13	-7,5	-13	-34	-22	0,5	3	60
IV	4	8	18	-7,5	-13	-26	-26	0,6	18	50

типа *II* примерно равнялся двум, что хорошо совпадает с его значением, вычисленным, согласно [1], по формуле

$$k_y = \sqrt{\frac{1 + \epsilon'}{2}}$$

В питающих линиях антенн типа *III* и *IV* k_y имеет величину порядка $\sqrt{\epsilon'}$

Опытные диаграммы направленности антенн на центральной частоте хорошо совпадали с расчетными (рис. 2, *a*). С отклонением частоты от центральной наиболее резко изменялись уровень боковых лепестков ξ и в меньшей степени ширина главного лепестка диаграммы направленности и его форма.

Ограничивающими по лосу пропускания антенн по искажениям диаграмм направленности были приняты частоты, на которых уровень боковых лепестков увеличивался на 50% в сравнении с расчетным.

Как следует из таблицы, самыми широкополосными оказались антенны с секциями типа *IV*.

Полосы пропускания $\left(\frac{2\Delta f}{f_0}\right)_\xi$, определяемые по искажениям диаграмм направленности, у антенн с секциями типа *I* и *II* небольшие. В связи с обнаружением высокого уровня поля кросс-поляризации секций типа *I* и *II* и резкого возрастания их бокового излучения с изменением частоты, остальные параметры антенн с такими секциями не измерялись.

Коэффициент бегущей волны на входе антенны измерялся коаксиальной измерительной линией типа Р1-3. На результат измерения повлияли отражения от коаксиальных разъемов, к. б. в. которых в сантиметровом диапазоне невысок. Несмотря на это, можно с уверенностью сказать, что антенны типа *IV* имеют приемлемый для широкополосных антенн к. б. в. в относительной полосе пропускания, не меньшей 25% (рис. 2, *b*).

Поскольку во всех разветвлениях фидера антенн типа *III* и *IV* применяются одинаковые делители и согласующие трансформаторы, из приведенных на рис. 1 секций можно без дополнительных разработок составлять антенны с большими поверх-

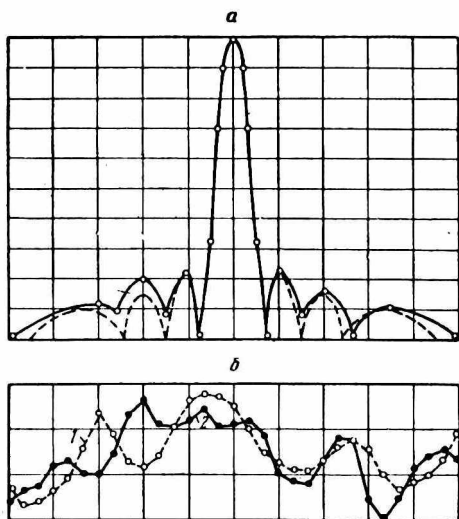


Рис. 2. Эскизы секций полосковых антенн.

ностями излучения. На рис. 2, б приведены частотные зависимости к. б. в. двух антенн, полученные простым соединением таких секций. Количество вибраторов в них равно 32 и 128. Как следует из рисунка, входные сопротивления обеих антенн мало отличаются друг от друга в широкой полосе частот.

Коэффициент усиления G измерялся методом сравнения с эталонной антенной и методом плоского экрана [2]. Результаты измерений обоими методами хорошо совпадают. Измеренный коэффициент усиления антенн типа III и IV равен 60 и 50 соответственно. К. н. д. этих антенн вычислялся, согласно [3], по формуле

$$D = 120 \frac{f_m^2(\theta)}{R_{\text{ЭП}}}$$

и оказался равным 107. Отличие измеренного коэффициента усиления от расчетного к. н. д. можно объяснить потерями мощности в питающих линиях, в диэлектрике, окружающем вибраторы, а также потерями на излучение поля кросс-поляризации.

Уровень кросс-поляризации определялся как отношение значений напряженности поля кросс-поляризации в направлении максимального излучения и основной поляризации в направлении главного максимума $\frac{E_{km}}{E_{om}}$. Он высок у антенн типа I и II (табл.),

что можно объяснить относительно интенсивным излучением однопроводных линий 2 в антенне I и наличием стоячей волны на участках линий между вибраторами. Питающие линии согласованы, начиная только с точек s (рис. 1, б).

Уровень поля кросс-поляризации секций типа III и IV небольшой. Здесь применены двухпроводные питающие линии, основное поле которых сосредоточено в диэлектрическом листе между двумя металлическими полосками.

Диаграммы направленности по полю кросс-поляризации у всех антенн слабонаправленные. Поэтому суммарная мощность излучения поля кросс-поляризации может составить существенную часть общей мощности излучения, что приводит к снижению коэффициента усиления антенны по полю основной поляризации.

Приведенные исследования позволяют сделать вывод, что лучшими параметрами в широкой полосе частот обладают антенны IV с широкополосными вибраторами (рис. 1, б), питаемые при помощи двухпроводной полосковой линии по параллельной (двоичной) схеме.

Коэффициент усиления печатных антенн, выполненных на материале ФАФ-4, такой же, как у современных апертурных антенн, имеющих коэффициент использования площади раскрытия $\nu = 0,5 \div 0,6$. Усиление антенн можно будет повышать за счет улучшения к. п. д. по мере разработки листовых диэлектриков с меньшими потерями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зернов Н. В. Теория диапазонных слабонаправленных антенн УКВ. Л., ЛКВВИА, 1958, 180 с.
2. Фрадин А. З., Рыжков Е. В. Измерение параметров антенно-фидерных устройств. М., Связьиздат, 1962. 316 с.
3. Дорохов А. П. Расчет и конструирование антенно-фидерных устройств. Изд-во Харьк. ун-та, 1960. 450 с.