

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИНЕЙНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ СВЯЗАННЫХ ДУХМОДОВЫХ ВОЛНОВОДОВ

*С.П.Скобелев, А.С.Вязигин*

Одной из важных задач теории и техники антенных решеток (АР) является задача формирования в них секторных парциальных диаграмм направленности (ПДН) [1,2]. Интерес к этой задаче обусловлен тем, что ее решение обеспечивает либо максимальный коэффициент усиления (КУ) решетки в заданном секторе сканирования при минимальном для последнего числа управляемых элементов, либо максимальный КУ в секторе сканирования, максимальном для заданного шага решетки.

В настоящее время известно, [3], несколько подходов к формированию секторных ПДН, из которых один из эффективных основан на использовании техники двухмодовых волноводов, предложенной в [4]. Как показано в [5,6], схема [4] обеспечивает формирование секторных ПДН довольно высокого качества. Однако наличие делителей мощности и направленных ответвителей в этой схеме затрудняет ее реализацию для работы в миллиметровом диапазоне длин волн, особенно когда требуется максимально плотное размещение двухмодовых волноводных излучателей. Поэтому в качестве альтернативного варианта в [3] рассмотрена модель АР двухмодовых волноводов, связанных друг с другом через обычные щели в их общих стенках. Анализ и оптимизация геометрии такой структуры, которая является существенно проще, чем в [4], показывает, [3], что формируемые в ней секторы ПДН по качеству не уступают ПДН, приведенным в [5,6].

Для проверки результатов численного анализа [3] и возможности практической реализации структуры для работы в миллиметровом диапазоне, по результатам расчетов одного из вариантов геометрии структуры был спроектирован и изготовлен макет линейной АР прямоугольных волноводов, в общих узких стенках которых выполнены щели связи. Разрез этой решетки в  $H$ -плоскости и ее вид сбоку показаны на

рис. 1а, б. В отличие от теоретической модели в виде бесконечной периодической структуры плоско-параллельных волноводов, рассматриваемая решетка состоит из семи элементов, раскрыты которых выходят на общую рупорную часть. Как показано на рис. 1,б, конструкция решетки состоит из шести блоков: одномодовых волноводов, переходов с одномодовых на двухмодовые волноводы, двухмодовых секций, двухмодовых секций со щелями, двухмодовых секций с разветвлениями и рупорной части. Разветвления введены для того, чтобы избежать потерь КУ из-за косинусоидального распределения поля основной волны на раскрыве двухмодового волновода. Волноводные каналы в каждом блоке выполнены электро-эрозионным способом. Точность стыковки каналов обеспечена наличием соответствующих штифтов, а блоки стянуты между собой четырьмя продольными болтами. Величины геометрических параметров структуры в Н-плоскости приведены в [3]. Ширина волноводов в Е-плоскости равна стандартной величине 3.4 мм, а длина рупорной части и ширина ее раскрыва равны соответственно 25 и 7 мм.

Измерения характеристик решетки проводились в полосе частот  $(34 \pm 1)$  ГГц. На рис. 1,с сплошной кривой показана частотная зависимость коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) центрального элемента решетки, полученная с использованием панорамного измерителя КСВН Р2-65. При измерениях остальные элементы решетки, как показано на рис. 1, а, были нагружены на согласованные нагрузки, выполненные из поглощающей пленки. На рис. 1, с штриховой линией показана также теоретическая кривая КСВН, рассчитанная по формуле  $КСВН = (1 + C_0)/(1 - C_0)$ , где

$$C_0 = |(1/\pi) \int_0^{\pi} R(u) du|$$

— коэффициент отражения при возбуждении одного элемента, а  $R(u)$  — коэффициент отражения при квазипериодическом возбуждении всей решетки [3]. Небольшие различия между теоретической и экспериментальной кривыми объясняются отсутствием рупорной части в теоретической модели [3]. Это может быть обосновано следующими оценками. Так как угловой раскрыв рупора в Е-плоскости мал и более 90% мощности падает на раскрыв рупора в секторе  $\pm 15^\circ$  в Н-плоскости из-за секторности ПДН, то хорошей моделью для рупора будет открытый конец плоского волновода, коэффициент отражения ТЕМ волны от которого,

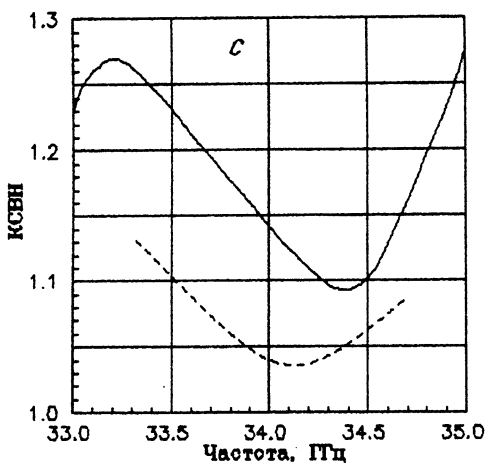
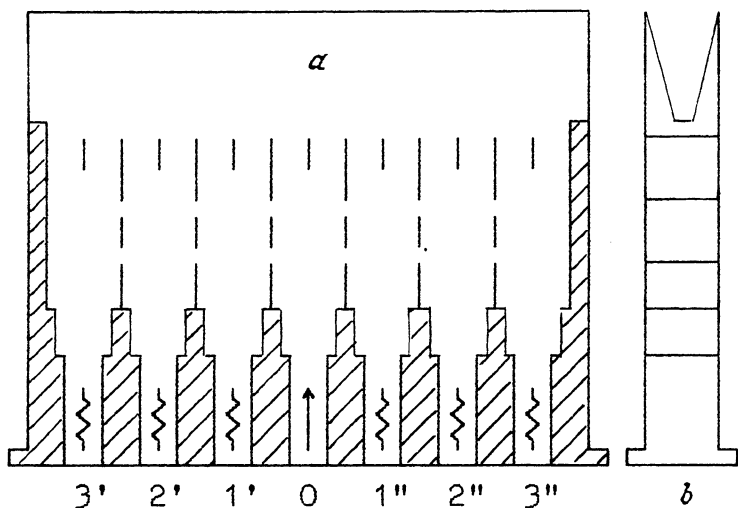


Рис. 1. Разрез решетки в Н-плоскости (а), вид сбоку (4b) и КСВН при запитке центрального входа (с).

согласно [7], равен  $R = \exp(-\pi d/\lambda)$ , где  $d$  — указанная выше ширина раскрытия,  $\lambda$  — длина волны. На частоте, например, 34 ГГц  $R = 0.08$ , а  $C_0 = 0.02$ . Поэтому в зависимости от фазовых соотношений между сигналами, отраженными от раскрытий рупора и решетки, полный коэффициент от-

ражения должен лежать в пределах от  $R - C_0$  до  $R + C_0$ , т.е. от 0.06 до 0.1, что соответствует интервалу КСВН от 1.13 до 1.22. Из рис. 1, с видно, что измеренное значение КСВН на 34 ГГц лежит внутри указанного интервала. Аналогичные оценки, обосновывающие влияние рупора, могут быть сделаны и для других значений частоты.

Измерения ПДН решетки проводились следующим образом. Решетка устанавливалась на поворотном устройстве (ПУ) так, что ось вращения проходила через раскрыв, что исключало параллакс. На один из входов решетки подавался сигнал с генератора, также установленного на ПУ. При этом остальные входы решетки были нагружены на согласованные нагрузки. Сигнал, излученный решеткой, принимался рупорной антенной, расположенной в дальней зоне решетки, и через поляризационный аттенюатор поступал на приемник и далее — на самописец. Отсчет уровней сигнала производился по шкале аттенюатора.

Результаты измерений ПДН решетки при запитке центрального входа на частоте 34 ГГц показаны на рис. 2, а, где крестиками показаны также расчетные значения ПДН. Анализ полученных ПДН показывает, что ее полуширина по уровням  $-1$  дБ и  $-10$  дБ равна  $0.7\omega$  и  $1.3\omega$  соответственно, где  $\omega = \lambda/2b$  — полуширина идеальной секторной ПДН [2], а  $b$  — переход решетки. Уровень боковых лепестков (УБЛ) не превышает  $-17$  дБ. Аналогичные характеристики решетки [4], следующие из [5], равны соответственно  $0.65\omega$ ,  $1.16\omega$  и  $14$  дБ.

На рис. 2, б и с показаны ПДН при запитке центрального входа на частотах 33.49 и 34.51 ГГц соответственно. Видно, что форма ПДН в области секторного луча практически не меняется, что дает возможность использовать подобные структуры и в системах частотного сканирования в полосе 3%.

Для исследования влияния края решетки на форму ее ПДН были проведены измерения последней при запитке боковых входов решетки. Результаты, полученные на частоте 34 ГГц, показаны на рис. 2, д, е и ф. Как следует из указанных рисунков, форма ПДН в области секторного максимума при запитке каждого из боковых входов (кроме крайних) практически одинакова. Изменение формы проявляется в некотором повышении УБЛ со стороны ближайшего края решетки. При запитке крайних входов ПДН, показанные на рис. 2, ф, уже существенно отличаются от секторной, поэтому в реальных устройствах к решетке активных элементов следует добавлять по одному пассивному элементу с каждого края.

Приведенные результаты показывают, что решетки рассмотренного типа, являясь более простыми по конструкции

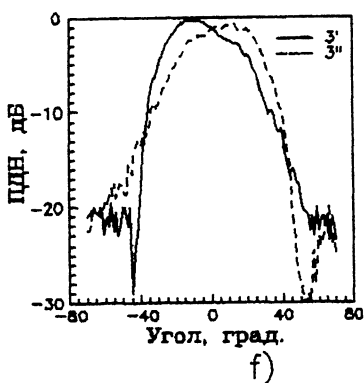
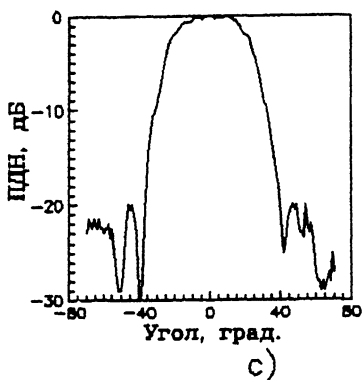
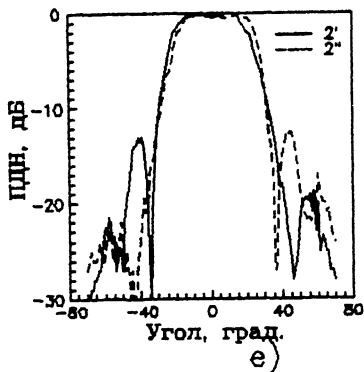
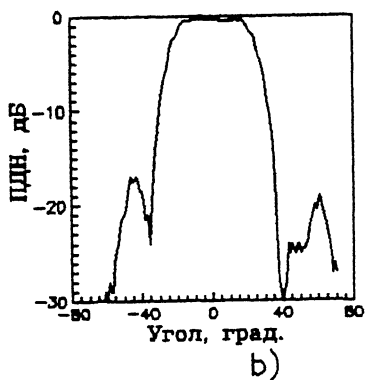
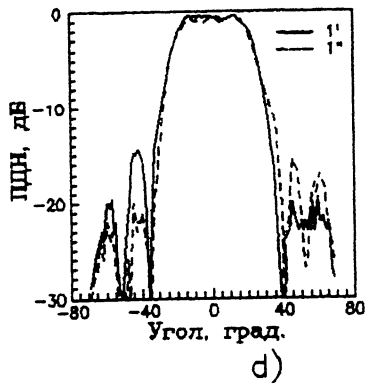
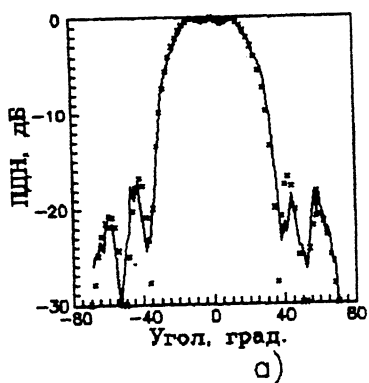


Рис. 2. ПДН решетки при запитке центрального входа на частотах 34 ГГц (а), 33.49 ГГц (б), 34.51 ГГц (с) и первых (д), вторых (е) и третьих (ф) боковых входов на частоте 34 ГГц.

по сравнению с известными решетками с делителями и ответвителями, обладают не худшими чем в последних характе-

ристиками, что позволяет рекомендовать их для более широкого практического использования.

В заключение авторы выражают благодарность И.Б.Крыжановскому, А.К.Рыжакову, В.В.Васильченко и Г.В.Маркину за помощь при подготовке экспериментов.

### Список литературы

- [1] *Вендик О.Г.* Антенны с немеханическим движением луча. М.: Советское радио, 1965. 360 с.
- [2] *Мейлукс Р.Дж.* // ТИИЭР. 1982. Т. 70. N 3. С. 5-62.
- [3] *Скобелев С.П.* // Труды X школы-семинара по дифракции и распространению волн. Москва, 7-15 февраля 1993 г. М.: НИИРФ, 1993. С. 369-395.
- [4] *Mailloux R.J., Franchi P.R.* // US Patent N 3938160, Int. cl. HO1Q 3/26, 1976.
- [5] *Mailloux R.J.* // IEEE Trans. on Antennas and Propag. 1974. V. AP-22. N 3. P. 487-489.
- [6] *Скобелев С.П.* // Радиотехника. 1987. N 7. С. 62-65.
- [7] *Вайнштейн Л.А.* Теория дифракции и метод факторизации. М.: Советское радио, 1966. 431 с.

Поступило в Редакцию  
28 июня 1993 г.

---