



## ХАРАКТЕРИСТИКИ Н-СЕКТОРИАЛЬНОГО РУПОРНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН С КРИВОЛИНЕЙНОЙ ФОРМОЙ ОБРАЗУЮЩИХ

*ЛЕПИХ Я.И., КАРПЕНКО А.А., СНЕГУР П.А.*

Приводятся результаты экспериментальных исследований коэффициента отражения и диаграммы направленности Н-секториального рупорного излучателя с криволинейными образующими комбинированной формы, работающего в режиме излучения основной моды волны  $H_{10}$  рабочего диапазона питающего волновода. Рупорный излучатель изготовлен по данным расчета методами преобразования Фурье и Ритца. Сопоставляются расчетные и экспериментальные данные.

### Введение

Повышение плотности передаваемой информации по каналам радиосвязи требует улучшения характеристик антенных систем, в том числе рупорных излучателей (РИ). К числу основных характеристик РИ относятся коэффициент отражения  $\Gamma$  энергии СВЧ обратно в питающий волновод и коэффициент преобразования (КП) энергии основной моды волны в моды волн высших типов. КП определяет ширину и форму диаграммы направленности (ДН) и ее боковых лепестков.  $\Gamma$  определяет КПД РИ и характер режима распространения электромагнитных волн в СВЧ линии от передатчика к антенне.

На практике для устойчивой работы передатчика с максимальной отдачей мощности в антенну необходимо обеспечить режим бегущей волны в антенно-фидерном тракте [1]. В связи с этим возникает необходимость в уменьшении  $\Gamma$  во всех составляющих тракта, в том числе и РИ. Вместе с тем, для равномерного облучения параболического зеркала антенны в приеме-передающих системах СВЧ связи необходимо, чтобы ДН РИ имела минимальное количество боковых лепестков. Это достигается уменьшением КП и выравниванием фазового фронта в раскрыве РИ [2].

Одновременное выполнение указанных требований представляет собой труднореализуемую задачу, решение которой возможно путем минимизации  $\Gamma$  методом преобразования Фурье [2] и минимизации КП методом Ритца [3].

РИ, 2009, № 3

В целях минимизации  $\Gamma$  и КП в данной работе исследовался РИ с криволинейной формой образующих. При этом решались задачи расчета характеристик КРИ, изготовления экспериментального образца, измерения характеристик и сопоставления результатов измерений с теоретическими, а также с результатами измерений РИ с прямолинейными образующими, работающего на той же частоте и имеющего такой же размер выходного отверстия, как и у КРИ.

На основании указанных методов [2, 3] и дальнейшего “сшивания” частных решений [1] произведен расчет РИ Н-секториального типа, у которого расширяется определенным способом только одна образующая, лежащая в горизонтальной плоскости. В качестве критериев расчета были теоретически заданы требуемые значения  $\Gamma$  и КП моделируемого РИ.

### 1. Экспериментальные исследования

На рис. 1 представлен экспериментальный образец Н-секториального рупорного излучателя с криволинейной формой образующих, работающего в режиме излучения основной моды волны  $H_{10}$ . Он изготовлен по расчетным методам Фурье и Ритца данным из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 с сечениями горловины и раскрыва 22x10 мм и 106x10 мм соответственно. Геометрическая длина излучателя  $L = 374$  мм.

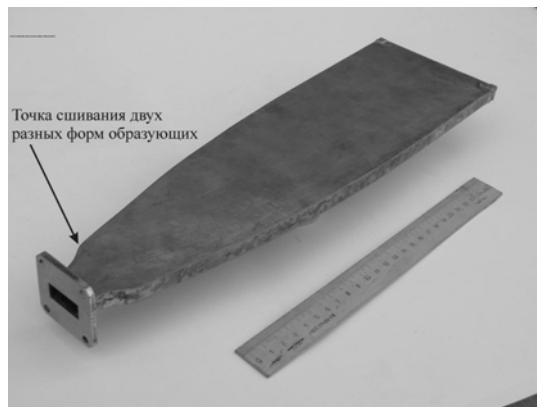


Рис. 1. Рупорный излучатель Н-секториального типа с комбинированной формой образующей

Экспериментальные исследования характеристик КРИ состояли в определении коэффициента стоячей волны ( $K_{св}$ ) и диаграммы направленности (ДН) в горизонтальной плоскости. Исследования проводились на основной рабочей частоте КРИ, соответствующей длине волны  $\lambda = 3.2$  см.

Аналогичные измерения были проведены на той же длине волны для Н-секториального РИ с прямолинейными образующими, идентичного по размерам с КРИ.

Измерения проводились по стандартной методике, а именно с помощью волноводной измерительной линии и лабораторного комплекса для измерения диаграммы направленности.

Блок-схема экспериментального стенда для измерения коэффициента стоячей волны –  $K_{св}$  представлена на рис. 2.

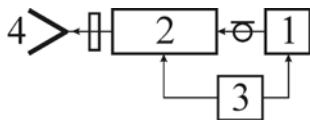


Рис. 2. Структурная схема измерения  $K_{св}$  КРИ: 1 – генератор СВЧ Г4-18А; 2 – измерительная волноводная линия Р1-28; 3 – блок питания; 4 – КРИ

Измерялись следующие параметры:

– коэффициент стоячей волны напряженности электрического поля ( $K_{св}$ ) в волноводе, питающем РИ;

– ДН РИ в горизонтальной плоскости.

Группового излучателя рассчитывался по формуле:

$$\Gamma = \frac{K_{св} - 1}{K_{св} + 1} \quad (1)$$

Измерения проводились по следующей методике.

На выходе измерительной волноводной линии Р1-28 с помощью винтов крепится РИ. На вход Р1-28 с генератора подается сигнал СВЧ с длиной волны  $\lambda = 3,2$  см.

Измеряется максимальное  $\alpha_{max}$  и минимальное  $\alpha_{min}$  показания милливольтметра, подключенного к диодной секции Р1-28. Коэффициент стоячей волны напряжений вычисляется по формуле:

$$K_{св} = \sqrt{\frac{\alpha_{max}}{\alpha_{min}}} \quad (2)$$

Затем рассчитывается коэффициент отражения группового излучателя по формуле (1).

Экспериментальные исследования ДН КРИ проводились на измерительном стенде в специализированном закрытом помещении размерами 5,5 x 7,5 м. Для уменьшения отражения поверхность стен помещения покрыта радиопоглощающим материалом. Измерительный стенд структурно показан на рис. 3.

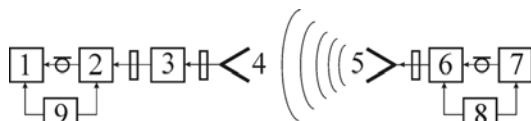


Рис. 3. Структурная схема измерительного стенда для измерения ДН КРИ: 1 – индикаторный блок; 2 – приемный блок; 3 – регулируемый аттенюатор; 4 – приемный РИ; 5 – передающий (исследуемый) КРИ с поворотным устройством; 6 – генераторный блок; 7 – модуляционный блок; 8, 9 – блоки питания

Измерения проводились по следующей методике. Клистронный генератор СВЧ колебаний – 6 вместе с исследуемым РИ – 5 закрепляются на штативе азимутального поворотного устройства. На расстоянии не менее 3 метров (дальняя зона) помещается приемный РИ – 4 на одном уровне по высоте с РИ над поверхностью Земли таким образом, чтобы ось приемного РИ совпадала с осью передающего (исследуемого) КРИ. При этом шкала отсчета угла в горизонтальной плос-

кости обнуляется. С выхода приемного устройства – 2 сигнал подается на милливольтметр индикаторного блока – 1. Изменяя угол в горизонтальной плоскости  $\theta$  КРИ поворотным устройством с дискретностью в 1 градус производятся измерения напряжения  $U$  (мВ) на выходе приемника. Затем строится нормированная ДН по напряженности и по мощности поля. Графическим способом определяется ширина ДН на уровнях 0,707 и 0,5 по напряженности и мощности поля соответственно.

График ДН исследуемого КРИ, нормированной по напряженности электромагнитного поля, представлен на рис. 4 под номером 1. ДН РИ с прямолинейными образующими представлена на рис. 4 под номером 2. Измерения проводились в угловом секторе  $\theta$  от  $-90$  до  $+90$  градусов относительно геометрической оси КРИ.

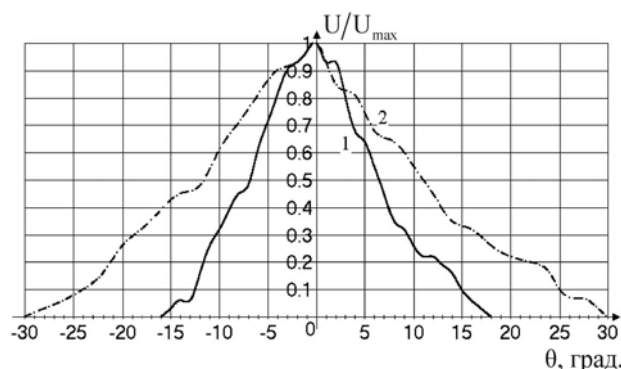


Рис. 4. ДН Н-секториального РИ по напряженности поля: 1 – ДН КРИ; 2 – ДН РИ с прямолинейными образующими

## 2. Результаты исследований и их обсуждение

Измерения  $K_{св}$  на длине волны  $\lambda = 3,2$  см показали, что величина  $K_{св}$  Н-секториального РИ с прямолинейными образующими имела значение 1,42, а  $\Gamma = 0,17$ .

$K_{св}$  исследуемого КРИ находился в пределах 1,96;  $\Gamma = 0,32$ , что на 0,15 хуже, чем  $\Gamma$  РИ с прямолинейными образующими.

Было сделано предположение, что причиной столь большого  $K_{св}$  КРИ является резкий скачок кривой образующей в области точки сшивания (см. рис. 1) и как следствие – скачок волнового сопротивления во внутренней полости КРИ, вызывающий отражение электромагнитных волн СВЧ обратно в питающий волновод.

Методом интерполяции было проведено сглаживание области точки сшивания и изготовлен еще один образец КРИ со сглаженной областью стыковки двух разных форм огибающей.

Измерение  $K_{св}$  сглаженного КРИ дало следующие результаты:

$K_{св}$  находился в пределах 1,32, что на 0,1 лучше, чем  $K_{св}$  РИ с прямолинейными образующими. Рассчитанное значение  $\Gamma$  сглаженного КРИ  $\Gamma = 0,14$  оказалось на

0,03 единицы меньше, чем у РИ с прямолинейными образующими.

Измеренное значение  $\Gamma$  КРИ, равное  $\Gamma=0,14$ , оказалось лучше, чем у РИ с прямолинейными образующими, но в 2 раза хуже, чем теоретически заданное ( $\Gamma_{\text{теор}}=0,07$ ) [1], что говорит о необходимости реализации конструкции КРИ с более плавным переходом при сшивании двух криволинейных образующих РИ, либо усовершенствования метода компьютерного моделирования.

Ширина ДН КРИ на уровне 0,707 по напряженности электромагнитного поля составила  $2\theta_{\text{КРИ}}=8,8^\circ$ , что почти в 2 раза меньше, чем ширина ДН РИ с прямолинейными образующими –  $2\theta_{\text{РИ}}=14^\circ$ . ДН сглаженного КРИ ничем не отличалась от ДН несглаженного КРИ.

### 3. Выводы

Исследования КРИ показали возможность достижения одновременного улучшения  $\Gamma$  и КП по сравнению с идентичным прямолинейным РИ при прочих равных условиях. Из этого следует, что изменение формы образующей дает возможность гибкого управления характеристиками КРИ за счет изменения структуры электромагнитного поля. Одновременное уменьшение  $\Gamma$  и КП в КРИ может быть достигнуто комбинированием нескольких криволинейных форм образующих на разных участках КРИ, что позволяет значительно уменьшить габаритные размеры КРИ без ухудшения его характеристик. Обнаруженное некоторое расхождение между ожидаемым и измеренным  $\Gamma$  требует, по-видимому, более точного изготовления образцов в области сшивания КРИ.

Исследуемый класс криволинейных рупоров может быть использован в бортовых антенных комплексах на судах, а также в авиации и космонавтике.

Решение задачи одновременной минимизации  $\Gamma$  и КП РИ путем изменения формы их образующих является новым *научным результатом*.

*Практическая значимость* результатов исследования заключается в перспективе создания компактных широкополосных облучателей зеркальных параболических антенн с управляемой диаграммой направленности и высоким КПД.

**Литература:** 1. Карпенко А.А., Лепих Я.И. Излучатель электромагнитных волн с комбинированной формой образующих // Радиотехника и электроника. 2008. Т. 53, №7. С. 818-824. 2. Shumljansky I. I. Horn radiation with curve formers. U.R.S.I. International symposium on Electromagnetic Theory. Budapest, August 1986. 721 p. 3. Каценеленбаум Б.З. Теория нерегулярных волноводов с медленно меняющимися параметрами. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 216 с.

Поступила в редколлегию 24.08.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Кошевой В.М.

**Лепих Ярослав Ильич**, д-р физ.-мат. наук, профессор, директор Межведомственного научно-учебного физико-технического центра Одесского национального университета им. И.И. Мечникова. Адрес: Украина, 65082, Одесса, ул. Дворянская, 2, тел: +38(048) 723-34-61, 726-63-56 факс: +38(048) 723-34-61, e-mail: ndl\_lepikh@onu.edu.ua

**Карпенко Андрей Александрович**, магистр, н.с. Одесского национального университета им. И.И. Мечникова. Научные интересы: радиотехника. Адрес: Украина, 65082, Одесса, ул. Дворянская, 2, тел: +38(048) 726-63-56, e-mail: Karpenko\_AA@mail.ru

**Снегур Павел Алексеевич**, с.н.с. Одесского национального университета им. И.И. Мечникова. Научные интересы: акустоэлектроника. Адрес: Украина, 65082, Одесса, ул. Дворянская, 2, тел: +38(048) 726-63-56