

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ И ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА СФЕРОИДАЛЬНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЯХ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ

*В. Ф. Кравченко, С. Н. Каретников, В. В. Устименко,  
В. С. Кармакулов*

**Харьков**

Имеется большое количество работ [1, 2, 3, 4], где в строгой постановке решаются внутренние электродинамические задачи о рассеянии и прохождении электромагнитных волн через ленточные препятствия в прямоугольном волноводе. Исследователи этого направления ставили перед собой задачу изучить физические особенности многоэлементных препятствий, представляющих собой набор индуктивных или емкостных диафрагм, а затем дать практические рекомендации при разработке конкретных устройств миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. В работе [10] был проведен эксперимент: измеряли коэффициент отражения для некоторых типов

многочисленных ленточных препятствий в прямоугольном волноводе. При разработке ряда устройств СВЧ диапазона широкое применение нашел также метод интегро-дифференциальных уравнений [5], получивший развитие в работах [6, 7, 8, 9]. Так, в работах [7, 8, 9] дан принципиально

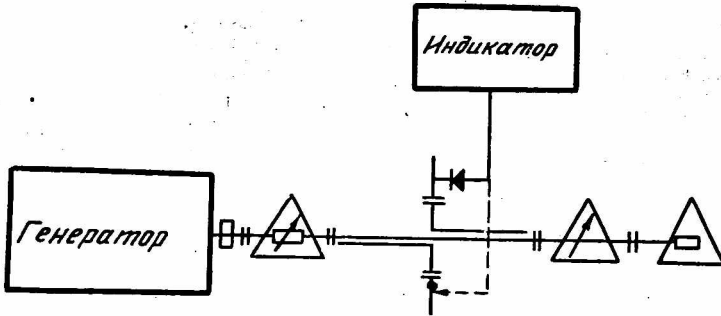


Рис. 1. Схема измерительной установки с рефлектометром.

новый метод расчета коэффициента отражения при наличии в прямоугольном волноводе неоднородностей правильной формы. Эти результаты оказались приемлемыми при разработке трансформаторов полных сопротивлений, фильтров типов волн и других конкретных устройств техники сверхвысоких

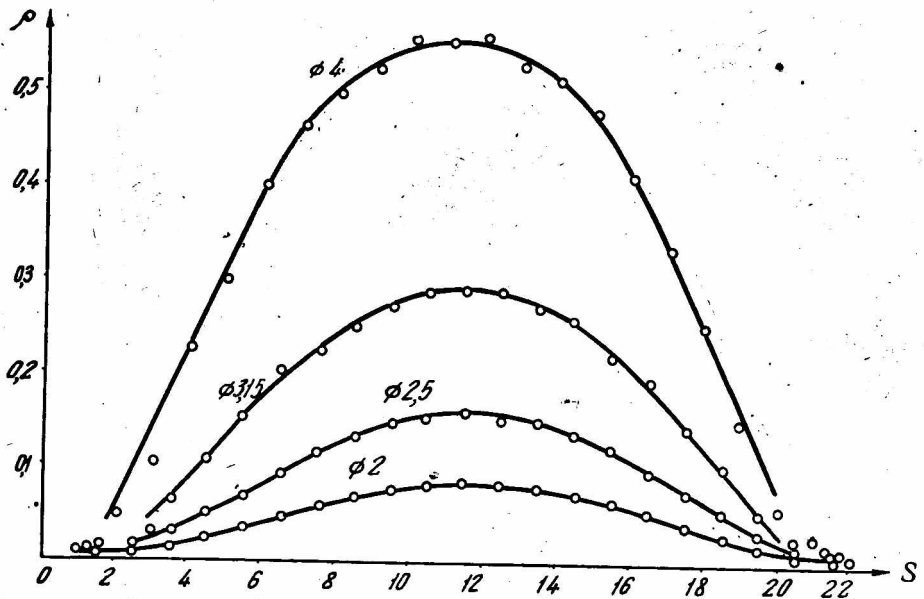


Рис. 2. Положение оси двух стальных сфер на широкой стенке волновода. Расстояние между сферами соответствует  $\beta_{\max} f = 9780$  Мгц.

частот [9]. Цель данной работы — показать особенности измерения коэффициента отражения при наличии неоднородностей правильной формы, расположенных в прямоугольном волноводе.

Исследование отражающих свойств неоднородностей, вводимых в волноводную систему, основано на регистрации отраженной волны либо непосредственно с помощью направленных ответвителей, либо исследованием структуры поля перед неоднородностью с помощью измерительной линии. В первом случае направленные ответвители для регистрации падающей

в отраженной волн образуют удобную измерительную систему — рефлектометр. Значение коэффициента отражения определяется непосредственно и не требует сложных операций при измерении, как, например, в измерительных линиях. Основным недостатком рефлектометра является зависимость показаний от частоты. В связи с этим недостатком все измерения рефлектометром следует проводить в узком диапазоне частот или на одной фиксированной частоте.

Погрешности измерения КСВ с помощью рефлектометров определяются погрешностями индикаторного устройства, несовершенством механической конструкции. Точность измерения коэффициента отражения, не превышающего 0,5 при коэффициенте направленности порядка 40 дБ, не уступает лучшим образцам измерительных линий и составляет  $\pm 0,05 \div 0,07$  к модулю коэффициента отражения для рефлектометра типа Р-2-7.

Измерительная линия лишена недостатков рефлектометра. Она позволяет измерять значения КСВ выше 2,5—3 значительно точнее, чем рефлектометр. Погрешность измерения для линии ИВЛ-635 составляет не более  $\pm 5\%$ .

Неоднородности исследовались в диапазоне 3 см с помощью рефлектометра Р-2-7 и измерительной линии ИВЛ-635 в диапазоне 1,2—1,8 см.

В первом случае измерительная установка состояла из генератора трехсантиметрового диапазона, развязывающего ферритового вентиля, аттенюатора, рефлектометра с индикатором У2-6, исследуемой неоднородности и согласованной нагрузки. Схема и общий вид измерительной установки представлены на рис. 1. В качестве неоднородностей использовались стальные сферы различного диаметра. Точность изготовления составляет  $\pm 0,01$ . Сферы в определенных точках волновода устанавливались при помощи магнитов.

Были исследованы отражающие свойства системы двух стальных сфер при следующих зависимостях.

1. Зависимость коэффициента отражения от положения общей оси двух сфер относительно широкой стенки волновода. Сферы синхронно перемещались по широкой стенке волновода без изменения расстояния между ними. Такие зависимости определены для сфер  $\varnothing 2; 2,5; 3,15; 4$  мм. Результаты измерений представлены на графике (рис. 2).

2. Зависимость коэффициента отражения для двух стальных сфер от их диаметров. Сферы располагались по оси волновода; расстояние между

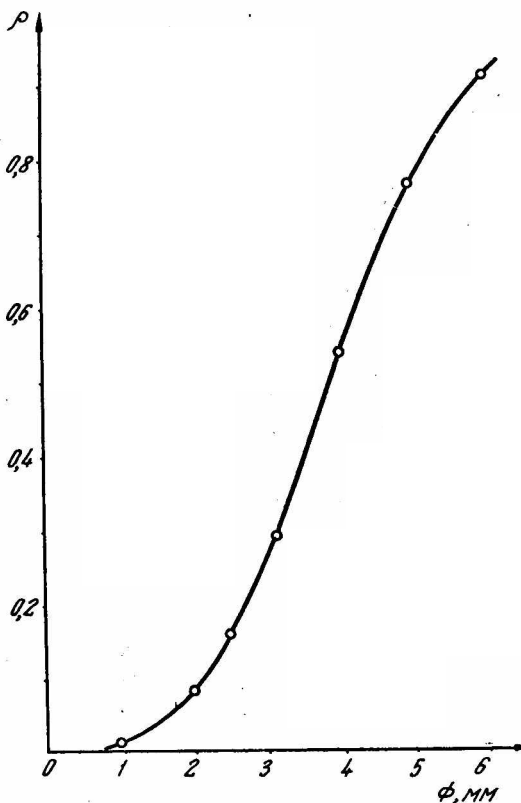


Рис. 3. Зависимость коэффициента отражения  $\rho$  от диаметра двух стальных сфер  $f = 9780$  МГц.

ними выбиралось кратным  $\frac{\lambda}{4}$ , что соответствовало максимальному значению коэффициента отражения (рис. 3).

3. Зависимость коэффициента отражения от расстояния между сферами. При этом сферы располагались на оси волновода, что соответствовало максимальному значению коэффициента отражения (рис. 4).

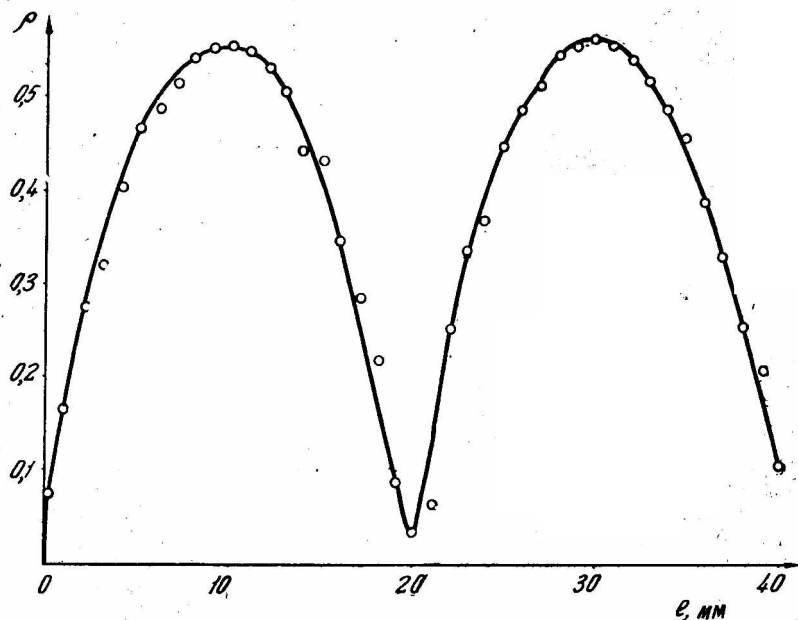


Рис. 4. Сфера стальная  $\varnothing 4$  мм;  $f = 9780$  Мгц.

Для проведения частотных измерений была использована экспериментальная установка с измерительной линией. Схема установки изображена на рис. 5. В качестве источника сигналов служил клистронный генератор

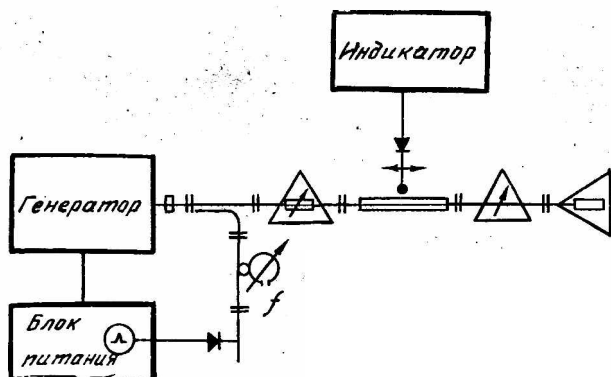


Рис. 5. Схема измерительной установки.

типа Г-330, работавший в импульсном режиме с частотой посылок 1000 гц. Частота сигнала определялась волномером типа ВСТ, соединяющегося с генератором при помощи направленного ответвителя. Последний связан с измерительной линией через развязывающий аттенюатор. Другой конец линии нагружен исследуемой неоднородностью и согласованной нагрузкой.

В качестве индикатора использовался измерительный усилитель У-2-6.

Макет с неоднородностью представляет собой отрезок волновода с отверстиями в узкой стенке, расположенными таким образом, что ось, проходящая через отверстия, перпендикулярна к оси волновода. Для устранения излучения отверстия выполнены в виде запердельных волноводов. Через отверстия пропускается тонкая шелковая нить. Неоднородность кре-

питается к нити при помощи клея. Нить натягивается тетивой, установленной на подвижном цилиндрическом штифте. Штифт передвигается с помощью винта. Положение винта, а следовательно и неоднородности, определяется глубиномером часового типа с точностью  $\pm 0,01$  мм.

Точность нахождения коэффициента отражения определяется в основном измерительной линией и точностью установки неоднородности. Систематическая погрешность индикаторного устройства при определении КСВ

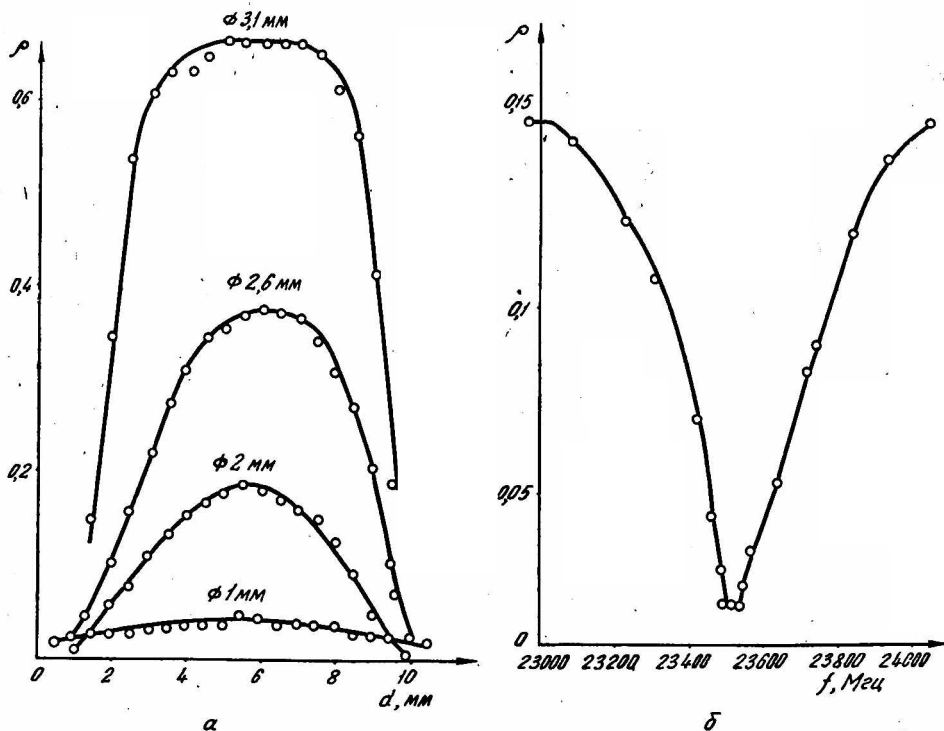


Рис. 6. Зависимость коэффициента отражения от расположения неоднородностей в прямоугольном волноводе: а — зависимость коэффициента отражения от положения одиночной сферы по широкой стенке волновода; б — зависимость полосы пропускания фильтра, состоящего из двух керамических сфер ( $\varnothing 1,72$  мм;  $\epsilon = 7,9$ ;  $\text{tg } \epsilon = 0,0175$ ).

как отношения  $\frac{u_{\max}}{u_{\min}}$  исчезает. Кроме этого, на точности измерений сказывается наличие отверстий и нити в волноводе, которые вносят ошибку, не превышающую  $\pm 2\%$ . Таким образом, общая погрешность измерений не больше  $\pm 7\%$ .

На данной установке были проведены следующие измерения.

1. Найден коэффициент отражения от единичной стальной сферы. Исследовались сферы 1; 2; 2,6; 3,1 мм. На рис. 6, а представлены зависимости коэффициента отражения от положения сфер в поперечном сечении волновода. Измерения проводились на частоте 19 200 мГц.

2. Определялась полоса пропускания фильтра, состоящего из двух керамических сфер (рис. 6, б). Полоса пропускания фильтра на уровне 0,707 от минимума составляет 125 мГц. Волноводным методом определена диэлектрическая проницаемость керамики и тангенс угла потерь, которые составляют соответственно  $\epsilon = 7,9$  и  $\text{tg } \beta_{\epsilon} = 0,0175$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Шестопапов, В. В. Щербак. РиЭ, 10, № 6, 1965.
2. В. П. Шестопапов, В. В. Щербак. РиЭ, 10, № 7, 1965.
3. А. И. Ена, Л. Н. Литвиненко, В. П. Шестопапов. «Изв. вузов, Радиофизика», 11, № 1, 1968.
4. В. П. Шестопапов, В. В. Щербак. РиЭ, 11, № 4, 1966.
5. Н. А. Хижняк. Сб. «Радиотехника», вып. 4, Изд-во ХГУ, Харьков, 1967.
6. В. С. Жилков, В. Ф. Кравченко, Н. А. Хижняк. Сб. «Радиотехника», вып. 10. Изд-во ХГУ, Харьков, 1969.
7. В. Ф. Кравченко, Е. Л. Пиротти, Н. А. Хижняк. ДАН УССР, № 5, 1970.
8. В. Ф. Кравченко, Е. Л. Пиротти, Н. А. Хижняк. Сб. «Радиотехника», вып. 14, Изд-во ХГУ, Харьков, 1970.
9. В. Ф. Кравченко, Е. Л. Пиротти, Н. А. Хижняк, В. В. Устименко, В. С. Жилков. Отчет по НИР «Расчет и разработка трансформаторов полных сопротивлений для прямоугольных и круглых волноводов», 68064934, ч. 1, Б033250 ХИРЭ, 1969.
10. В. Б. Казанский, В. Н. Ульянов. Сб. «Радиотехника», вып. 10. Изд-во ХГУ, Харьков, 1969.