

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН С НАКЛОННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ

В. А. Цветков, И. В. Алексанова, В. Г. Мелконян,  
А. В. Князев, А. О. Воронько

**В** настоящей статье рассмотрено распространение волн в прямоугольном волноводе около границы диапазона закритических частот. Приведены результаты затухания сигналов суммы двух ортогональных поляризаций, показывающие возможность распространения волн в узких частотных диапазонах, в области закритических частот.

**Ключевые слова:** прямоугольный волновод, наклонная поляризация, потери, крест-вибратор.

### Введение

В настоящее время структура волн в волноводе в районе границы закритических частот исследована достаточно слабо. В статье описан эксперимент с распространением волн наклонной поляризации в прямоугольном волноводе. В верхней части диапазона обе поляризации волн находятся в области распространения, в нижней – в закритической области. В волноводе возбуждается сумма двух ортогональных поляризаций. При этом излучатели, запитываемые волновод, устанавливаются в режиме согласованной поляризации или кроссполяризации (поляризационно развязанными). Результаты измерений коэффициентов передачи на наклонной поляризации, в зависимости от частоты, показывают, что в узких диапазонах они имеют коэффициенты затухания меньше, чем у волн  $E$  или  $H$  типа. Это свидетельствует о формировании в волноводе волн с «наклонной» поляризацией.

### Описание измерений

Целью эксперимента являлось измерение и сравнение коэффициентов передачи между двумя излучателями, расположенными друг напротив друга в свободном пространстве и через волновод сечением  $125 \times 160$  мм. Излучателями являлись крест-вибраторы с наклонными плечами и директором, описанные в [1]. Диапазон измеряемых частот  $1200 - 1400$  МГц. Верхняя частота диапазона является докритической в обеих поляризациях, нижняя – закритической. В первом, контрольном, эксперименте излучатели располагались на круглых металлических экранах диаметром  $550$  мм в безэховой камере с уровнем безэховости  $\approx -12$  дБ. Расстояние между экранами составляло  $460$  мм. Во втором эксперименте измерения проводились в прямоугольном волноводе длиной  $460$  мм (рис. 1), излучатели устанавливались на торцах волновода. Таким образом, расстояние между фазовыми центрами излучателей  $\approx 330$  мм в обоих экспериментах.

В каждом из экспериментов сначала измерялся коэффициент передачи между отдельно запитанными плечами крест-вибраторов (на выходы неиспользуемых плеч устанавливались согласованные нагрузки, схема приведена на рис. 2), а потом измерялся коэффициент передачи между крест-вибраторами (схема приведена на рис. 3).



Рис. 1. Волновод с установленными излучателями

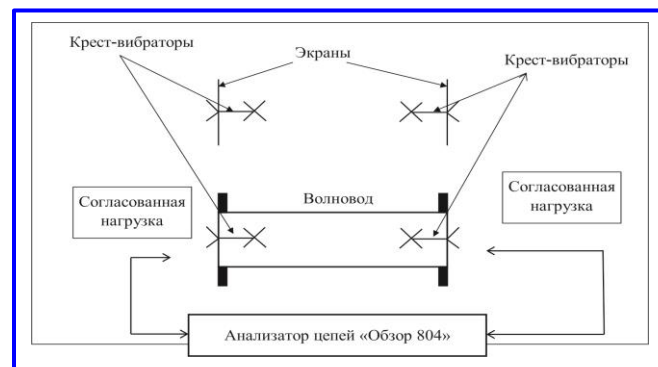


Рис. 2. Схема испытаний с отдельно запитанными плечами

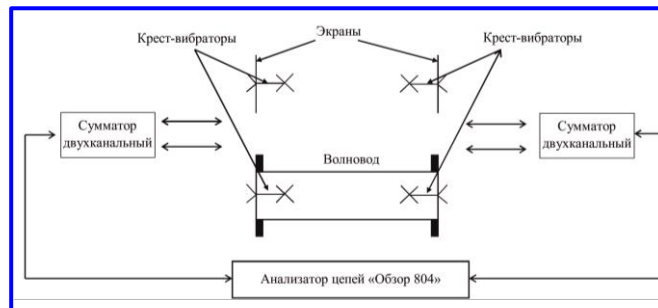
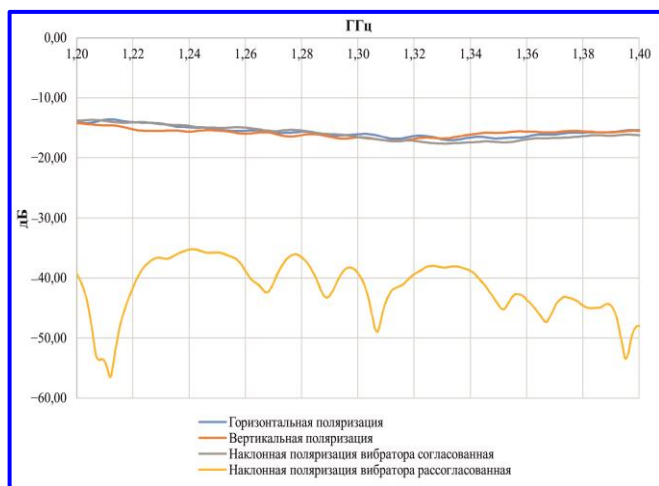
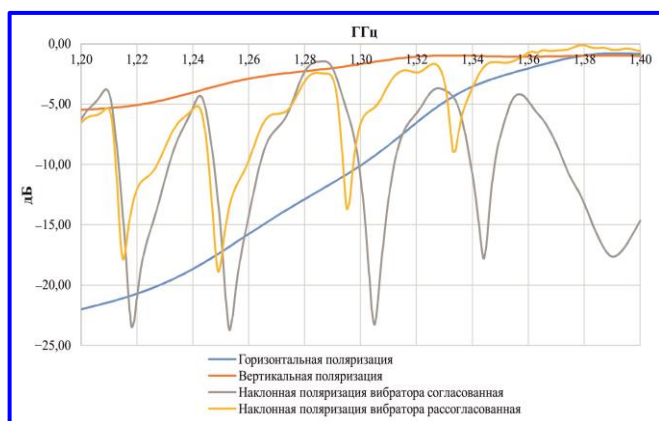


Рис. 3. Схема испытаний с синфазно запитанными плечами



**Рис. 4. Коэффициент передачи между излучателями в свободном пространстве (эксперимент 1)**



**Рис. 5. Коэффициент передачи между излучателями в волноводе (эксперимент 2)**

Каждый крест-вibrator запитывался синфазно через сумматоры, что формирует линейную наклонную поляризацию.

Крест-вibrаторы с разных концов волновода устанавливались сначала согласованно по итоговой наклонной поляризации, потом кроссполаризационно (вibrator поворачивался на 90 градусов вдоль своей оси относительно согласованного положения).

Коэффициент стоячей волны по напряжению каждого из крест-вibrаторов не превышает 1,6 по каждому плечу.

На рис. 4 и 5 приведены коэффициенты передачи излучателей в экспериментах 1 и 2 соответственно.

Под горизонтальной поляризацией подразумевается коэффициент передачи между плечами противоположных крест-вibrаторов, параллельными широкой стенке волновода.

Под вертикальной поляризацией подразумевается коэффициент передачи между плечами противоположных крест-вibrаторов, параллельными узкой стенке волновода.

## Анализ результатов

Как видно из рис. 4 коэффициент передачи между излучателями в свободном пространстве по поляризациям и при согласованной наклонной поляризации составляет  $\approx 16$  дБ, в случае рассогласованной поляризации –  $\approx 40$  дБ. Уровень кроссполаризационной развязки составляет  $\approx 25$  дБ.

Коэффициенты передачи для одиночных излучателей (отдельных плеч крест-вibrаторов) в эксперименте 2 с ростом частоты увеличиваются от значений  $-5$  дБ для вертикальной поляризации и  $-20$  дБ для горизонтальной поляризации до значений  $\approx -1$  дБ, что соответствует известным законам распространения радиоволн в волноводах и подтверждает правильность эксперимента [2, 3].

При рассмотрении крест-вibrаторов, запитанных через сумматоры, по коэффициенту передачи можно видеть, что в области верхних частот на кроссполаризации происходит распространение энергии между излучателями, что противоречит эксперименту в свободном пространстве.

Притом на более низких частотах (в закритической области) для наклонной поляризации появляются узкие частотные участки с низким ( $-20 - 25$  дБ) и высоким ( $-5$  дБ) коэффициентом передачи. Местами коэффициент передачи наклонной поляризации превышает коэффициент передачи согласованных по поляризации одиночных плеч.

Исходя из полученных графиков, можно предположить, что внутри волновода сечением  $125 \times 160$  мм и длиной 460 мм при запитке крест-вibrаторами в режиме наклонной поляризации на некоторых частотных диапазонах формируется структура волн, способных распространяться на закритических частотах с относительно небольшим коэффициентом затухания.

На других же частотных диапазонах формируемые волны получают дополнительное затухание ( $\approx 20$  дБ в описываемом эксперименте). И чем ближе данные диапазоны находятся к границе закритических частот, тем меньше коэффициенты передачи отличаются и зависят от взаимной поляризации крест-вibrаторов.

## Заключение

Исследовались коэффициенты передачи между крест-вibrаторами при согласованной и ортогональной наклонных поляризациях в прямоугольном волноводе. Показано их принципиальное отличие от коэффициентов передачи в случаях распространения в свободном пространстве и отдельной запитки плечей крест-вibrаторов.

Показанные результаты свидетельствуют о процессах, которые могут быть интерпретированы как формирование и распространение волн «наклонной» поляризации в прямоугольном волноводе, при этом с меньшими потерями, чем для волн, поляризованных параллельно узкой и широкой стенкам волновода.

Статья не претендует на конечную интерпретацию полученных данных, но показывает область, открытую для дальнейших исследований.

Поступила в редакцию 23.03.2023

## Литература

1. Оптимизация согласования крест-вибраторных антенных решеток / В. А. Цветков, И. В. Алексанова, А. О. Воронко [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ, 2021. – № 5. – Т. 184. – С. 31–35.
2. Никольский В. В. Электродинамика и распространение радиоволн / В. В. Никольский, Т. И. Никольская. – Москва: Наука, 1989. – 274 с.
3. Фельдштейн А. Л. Справочник по элементам волноводной техники / А. Л. Фельдштейн, Л. Р. Явич, В. П. Смирнов. – Москва: Советское радио, 1966. – 651 с.

*Василий Алексеевич Цветков, ведущий инженер, e-mail: supap@yandex.ru.  
(АО «РТИ им. академика А. Л. Минца»).*

*Ирина Владимировна Алексанова, ведущий инженер, e-mail: irina-razina@yandex.ru.  
(«АБС Электро»).*

*Владимир Гарриевич Мелконян, инженер, e-mail: melkonyan1016@mail.ru.  
Александр Васильевич Князев, инженер 2 категории, e-mail: alknayazev@rti-mints.ru.  
Андрей Олегович Воронко, инженер 2 категории, e-mail: avoronko@rti-mints.ru.  
(АО «РТИ им. академика А. Л. Минца»).*

## PROPAGATION OF WAVES WITH SLANT POLARIZATION IN A RECTANGULAR WAVEGUIDE

**V. A. Tsvetkov, I. V. Aleksanova, V. G. Melkonyan,  
A. V. Knyazev, A. O. Voronko**

*This article deals with propagation of waves in a rectangular waveguide near the boundary of the supercritical frequency range. The results of attenuation of signals of a sum of two orthogonal polarizations demonstrating the possibility of wave propagation in narrow frequency bands, in the supercritical frequency range are provided.*

**Key words:** rectangular waveguide, slant polarization, losses, cross-vibrator.

### References

1. Optimization of matching of cross-vibrator antenna arrays / V. A. Tsvetkov, I. V. Aleksanova, A. O. Voronko [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIEM Proceedings. – 2021. – No. 5. – Vol. 184. – P. 31–35.
2. Nikolskiy V. V. Electrodynamics and radio wave propagation / V. V. Nikolskiy, T. I. Nikolskaya. – Moscow: Nauka (Science), 1989. – 274 p.
3. Feldshtein A. L. Handbook on elements of waveguide equipment / A. L. Feldshtein, L. R. Yavich, V. P. Smirnov. – Moscow: Soviet Radio, 1966. – 651 p.

*Vasily Alekseyevich Tsvetkov, Leading Engineer, e-mail: supap@yandex.ru.  
(JC «Radiotechnical Institute named after Academician A. L. Mints»).*

*Irina Vladimirovna Aleksanova, Leading Engineer, e-mail: irina-razina@yandex.ru.  
(«ABS Electro»).*

*Vladimir Garrievich Melkonyan, Engineer, e-mail: melkonyan1016@mail.ru.  
Aleksandr Vasilievich Knyazev, 2<sup>nd</sup> Category Engineer, e-mail: alknayazev@rti-mints.ru.  
Andrey Olegovich Voronko, 2<sup>nd</sup> Category Engineer, e-mail: avoronko@rti-mints.ru.  
(JC «Radiotechnical Institute named after Academician A. L. Mints»).*