

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЛУЧЕВОДА МИЛЛИМЕТРОВОГО И СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНОВ ВОЛН

*А. И. Горошко, Е. М. Кулешов*

Харьков

Полый диэлектрический лучевод был предложен [1] для оптических частот. Он представляет собой цилиндрический воздушный канал в безграничном диэлектрике. Основная часть энергии собственных волн лучевода распространяется вдоль воздушного канала, радиус которого  $a$  должен значительно превышать длину волны  $\lambda$ , что легко реализуется на оптических частотах. В работе [1] рассмотрены собственные типы волн, их фазовая скорость и затухание в лучеводе в приближении, что  $\frac{a}{\lambda} > 10$ .

В миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах лучеводы с поперечными размерами  $\frac{a}{\lambda} > 10$  громоздки. В полном диэлектрическом лучевode для короткой части миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн [2] в длинноволновой части диапазона отношение  $\frac{a}{\lambda}$  равно 5—6. Набор собственных типов волн в лучевode определяется граничными условиями и не зависит от поперечных размеров лучевода. Но постоянные распространения собственных волн лучевода существенно зависят от его поперечных размеров и возможность применения для лучевода [2] расчетных формул [1], полученных в предположении, что  $\frac{a}{\lambda} > 10$ , требует экспериментальной проверки.

В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования затухания гибридной волны  $EH_{11}$  в полном диэлектрическом лучевode [2] в диапазоне длин волн 0,8—1,6 мм.

Затухание волны  $EH_{11}$  меньше, чем у других собственных волн полого диэлектрического лучевода при  $n < 2,02$ , и описывается выражением [1]

$$\alpha_{11} = 1268 \frac{\lambda^2}{a^3} \operatorname{Re} \frac{\frac{1}{2}(n^2 + 1)}{\sqrt{n^2 - 1}} \text{ дБ/м}, \quad (1)$$

где  $n = \sqrt{\epsilon}$  — комплексный коэффициент преломления диэлектрика;  $\operatorname{Re}$  — действительная часть. Значения  $\lambda$  и  $a$  взяты в мм.

Исследовано два варианта полого диэлектрического лучевода: с гладкой внутренней поверхностью и ребристой. Продольные ребра использовались для снижения эффективного  $\epsilon$  при отражении электромагнитной волны и повышения таким путем подавления высших типов волн. Конструктивно лучеводы представляют собой трубу из фенoplastа с внутренним диаметром 20 мм, помещенную в несущую металлическую трубу с фланцами. В случае ребристой поверхности лучевода последняя выполнена в виде продольных ребер треугольного поперечного сечения высотой 1 мм, шириной основания 0,7 мм и шагом 0,7 мм. Применение в качестве диэлектрика фенoplastа, обладающего значительными потерями ( $\operatorname{tg} \delta \approx 0,1 \div 0,05$ ), позволило исключить влияние металлической трубы, так как при двойном прохождении электромагнитной волны, проникающей в диэлектрическую трубу с толщиной стенки 5 мм, сигнал ослабляется на 40—50 дБ.

Затухание в лучевode измерялось на установке, упрощенная блок-схема которой представлена на рис. 1. В качестве СВЧ генератора использовались ЛОВ [3], имеющие вывод энергии по многоволновому волноводу повышенного сечения, у которых значительную часть энергии (20—30%) несут высшие типы волн [4]. Наличие высших типов волн на входе волноводно-лучевого перехода (ВЛП) приводит к возбуждению на лучеводном выходе

ВЛП помимо рабочей волны лучевода  $EH_{11}$  высших типов волн со значительным уровнем энергии. Поэтому между генератором и ВЛП-1 расположен отрезок волновода, запердельный в рабочем диапазоне для всех волн, кроме  $H_{10}$ . Для подавления паразитных волн  $EH_{31}$ ,  $EH_{-11}$  и  $EH_{12}$ , которые все же присутствуют на выходе ВЛП, используется двухметровый отрезок ребристого лучевода, расположенный непосредственно за ВЛП-1. Далее на пути СВЧ сигнала расположены делитель луча ДЛ-1 и набор метровых отрезков исследуемого лучевода с общей длиной до 8 м.

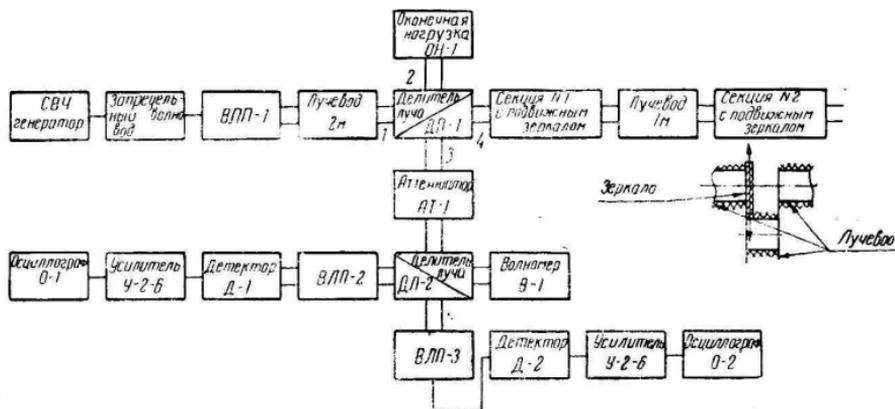


Рис. 1. Блок-схема установки для измерения затухания в лучеводах.

Соседние отрезки лучевода разделены короткими секциями с подвижной кареткой, на которой расположены юстируемое плоско-параллельное зеркало и отрезок лучевода. Работа секции схематично показана на рис. 1. В нижнем положении каретки сечение лучевода перекрывается зеркалом, перпендикулярным к оси лучевода и отражающим СВЧ сигнал, поступающий на вход секции, а в верхнем положении каретки — разрыв между соседними метровыми отрезками лучевода заполняется отрезком лучевода, и СВЧ сигнал без искажения проходит секцию.

В процессе измерения СВЧ сигнал поступает на вход 1 делителя луча ДЛ-1, частично проходит в плечо 4 и распространяется вдоль исследуемого участка лучевода, затем после отражения от плоско-параллельного зеркала возвращается к делителю луча ДЛ-1 и поступает в плечо 3. Далее этот сигнал через измерительный аттенуатор АТ-1, делитель луча ДЛ-2 и волноводно-лучевой переход ВЛП-3 поступает на кристаллический детектор Д-2.

Вся СВЧ часть экспериментальной установки собран на жесткой скамье и с помощью регулируемых креплений все лучеводы и зеркала юстируются по автоколлиматору.

Затухание в лучеводе измерялось следующим образом. Первоначально все зеркала поднимались в верхнее положение, а опуска-

лось только одно, обеспечивающее необходимую длину пути СВЧ сигнала вдоль исследуемого лучевода. Атенюатор АТ-1 устанавливался в нулевое положение и фиксировался уровень сигнала с детектора Д-2 по прибору усилителя. Затем опускалось зеркало секции № 1. Происходящее при этом возрастание уровня сигнала компенсировалось введением аттенюатора АТ-1. Затухание, введенное АТ-1, равно затуханию СВЧ сигнала при двойном прохождении пути между зеркалом секции № 1 и зеркалом, первоначально введенным в лучевод.

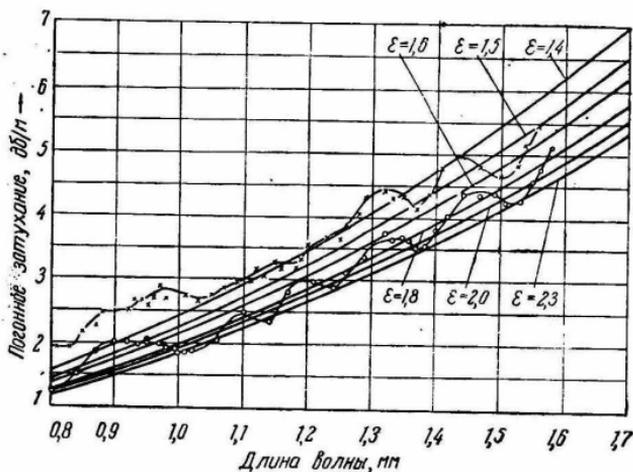


Рис. 2. Затухание в полых диэлектрических лучеводах. Сплошные кривые — расчетные. Экспериментальные результаты:  $x$  — ребристый лучевод;  $o$  — гладкий лучевод.

В процессе измерения частотной зависимости затухания следовало учитывать, что в некоторых точках диапазона возможно резонансное изменение затухания. В гладком лучевode такое затухание могли вызвать периодически расположенные неоднородности, например, ступеньки на стыках отрезков лучевода, так как набран из коротких прессованных отрезков трубы из диэлектрика. В ребристом лучевode может также возникнуть дифракционное излучение, связанное с прохождением электромагнитной волны над периодически расположенными продольными ребрами из фенопласта. Чтобы не пропустить такие явления, если они имеют место, измерения проводились в точках диапазона, отстоящих друг от друга на  $0,001$ — $0,0005$  мм по длине волны.

Результаты измерений затухания волны  $EH_{11}$  в гладком и ребристом лучеводах приведены на рис. 2.

Как следует из результатов измерений, в исследуемых лучеводах присутствуют ближние «паразитные» типы волн  $EH_{12}$  и  $EH_{31} + EH_{-11}$ , которые вызывают периодические колебания измеренного

затухания относительно кривой затухания волны  $EH_{11}$ , являющейся осевой линией для этих осцилляций. Лучшая самофилтрация ребристого лучевода несколько снижает уровень «паразитных» волн по сравнению с гладким лучеводом.

В гладком лучевode измеренное затухание волны  $EH_{11}$  увеличивается пропорционально квадрату длины волны и на 5—10% превышает рассчитанное по работе [1] для диэлектрической проницаемости фенопласта  $\epsilon = 2,3$ . Это расхождение можно объяснить «неидеальностью» лучевода и погрешностью измерения  $\epsilon$  фенопласта.

В ребристом лучевode измеренное затухание волны  $EH_{11}$  свидетельствует о том, что эффективная диэлектрическая проницаемость снижается до величины  $\epsilon \approx 1,5$ , т. е. величина затухания больше, чем в гладком лучевode. Это способствует лучшей самофилтрации лучевода. В диапазоне частот затухание изменяется меньше, чем при постоянном  $\epsilon$ . Это объясняется изменением эффективного  $\epsilon$  в диапазоне, связанным с увеличением на коротких волнах относительной глубины ребер.

В обоих лучеводах в диапазоне 0,8 ÷ 1,56 мм никаких резонансных изменений затухания не было обнаружено.

Таким образом экспериментально проверена работоспособность гладкого и ребристого полого диэлектрического лучевода на волне типа  $EH_{11}$  в диапазоне 0,8—1,6 мм и экспериментально показана справедливость расчетных формул работы [1] для затухания волны  $EH_{11}$  в полом диэлектрическом лучевode при  $\frac{a}{\lambda} > 5$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. E. A. Marcatili and R. A. Schmeltzer. BSTJ. v 43, 1964, № 4 part 2, p. 1783.
2. А. Н. Ахизер, А. И. Горошко, Б. Н. Князьков, Е. М. Кулешов, Д. Д. Литвинов, Н. И. Толмачев, В. А. Щербов, М. С. Яновский. Авт. свид. № 302054 «Бюллетень изобретений» № 30, 1971.
3. М. Б. Голант и др. Широкодиапазонные генераторы субмиллиметрового диапазона волн. ПТЭ, № 3. 1966.
4. Л. Н. Вершинина, В. В. Мериакри. Радиотехника и электроника, 12, 1967.