

## О ВОЗБУЖДЕНИИ ОТКРЫТОГО РЕЗОНАТОРА ИЗ ВОЛНОВОДА ОТВЕРСТИЕМ СВЯЗИ

*А. В. Камышан, В. В. Камышан*

Харьков

Открытые резонаторы миллиметрового диапазона обычно возбуждаются сосредоточенными элементами связи, размеры которых соизмеримы с рабочей длиной волны. Эти элементы естественным образом стыкуются с волноводными канализирующими линиями,

наиболее часто использующимися в этом диапазоне. К ним относятся различного рода щелевые и диафрагменные возбудители, размещаемые на стыке волновода и зеркала резонатора.

К настоящему времени, несмотря на широкое их использование, не имеется достаточно полного расчета параметров элементов связи, который бы учитывал все компоненты, определяющие нагруженные характеристики открытого резонатора. Хотя проведено общее теоретическое описание особенностей возбуждения произвольного открытого резонатора произвольным распределением источников [1], сведений о конкретных системах еще недостаточно. Так, в работах [2, 3] найдены выражения для коэффициентов возбуждения и нагруженной добротности открытого резонатора с диафрагменным элементом связи, однако применимость этих выражений ограничена малыми размерами отверстий связи, т. е. очень слабой связью резонатора с проводящими линиями.

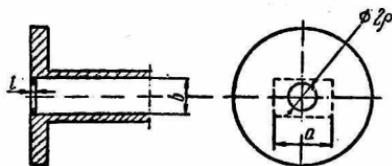


Рис. 1. Эскиз диафрагменного элемента связи.

Эффективное возбуждение открытых резонаторов миллиметрового диапазона (особенно для  $\lambda < 5 \text{ мм}$ ) требует использования отверстий связи, размеры которых соизмеримы с поперечными размерами волновода, что нарушает исходные предпосылки упомянутых работ. Поэтому представляет интерес экспериментальное исследование возбуждения открытых резонаторов диафрагменными элементами связи с большими отверстиями для определения основных параметров нагруженных систем.

В настоящей работе приведены некоторые результаты измерений одной из основных характеристик возбудителя — вносимых потерь — для диафрагменного элемента связи с круглым отверстием, схематичный рисунок которого показан на рис. 1.

Использованная методика измерения вносимых потерь основана на их зависимости от амплитуды поля собственного типа колебания в месте размещения элемента связи. Легко показать, что если элемент связи занимает малую поверхность отражателя по сравнению с площадью пятна поля собственного колебания, т. е. если поле собственного колебания практически не изменяется на поверхности элемента связи, при малых дифракционных потерях вносимые потери пропорциональны квадрату относительной амплитуды поля в резонаторе в точке возбуждения

$$\delta_{\text{вп}} = \sigma [H]^2, \quad (1)$$

где  $\delta_{\text{вп}}$  — вносимые потери;  $H$  — относительная амплитуда поля рассматриваемого типа колебания в точке размещения элемента связи;  $\sigma$  — эффективная поверхность рассеивания возбудителя,

зависящая в основном только от особенностей элемента связи и почти не зависящая от параметров резонатора.

Измерения проводились на полусимметричном неконфокальном открытом резонаторе. Размер плоского зеркала, на котором размещался исследуемый элемент связи, выбирался таким образом, чтобы зеркало не приводило к появлению дифракционных потерь. Перемещение плоского зеркала совместно с элементом связи перпендикулярно продольной оси резонатора позволяло, не изменяя формы и размеров резонатора, варьировать вносимые потери. Таким образом, определение вносимых потерь свелось к двухкратному измерению добротности резонатора: при размещении элемента связи в желаемой точке и в точке, где амплитуда поля собственного типа колебания мала, и, следовательно, малы вносимые потери (по сравнению с собственными потерями резонатора).

Величину вносимых потерь наиболее целесообразно измерять при таком размещении элемента связи, когда связь максимальна. Этому соответствует помещение элемента связи в точку с максимальным значением поля собственного колебания. Нахождение вносимых потерь при размещении элемента связи в другом месте сводится к теоретическому или экспериментальному отысканию распределения поля на зеркале резонатора, причем соотношение (1) позволяет найти вносимые потери для произвольного открытого резонатора.

Суммарные потери открытого резонатора определялись посредством измерения ширины полосы пропускания резонатора на уровне половинной мощности, для чего применялся стабилизированный источник СВЧ-колебаний и частотомер, описанный в работе (4).

Измерения проводились в 4-миллиметровом диапазоне. Исследуемый полусимметричный резонатор состоял из двух зеркал: сферического с радиусом кривизны 180 мм и плоского, расположенных на расстоянии 110 мм. Апертура зеркал выбиралась достаточно большой, чтобы дифракционные потери были много меньше тепловых (число Френеля соответствующего симметричного резонатора  $N = 1,5$ ).

Диафрагменный элемент связи был изготовлен путем впайки стандартного прямоугольного волновода в центр плоского зеркала с последующей подгонкой и припаиванием диафрагмы. После этих операций зеркало притиралось для получения плоскости и удаления следов припоя. Толщина диафрагмы колебалась в пределах  $t = 0,03 - 0,04$  мм, что для 4-миллиметрового диапазона обеспечивало удовлетворение неравенства  $t/\lambda \ll 1$ . Диаметр отверстия связи изменялся от 0,4 мм, когда вносимые потери неразрешимы на фоне тепловых, до максимально возможного, ограниченного размером узкой стенки волновода.

Теоретическая и экспериментальная зависимости суммарных вносимых элементом связи потерь показаны на рис. 2. Расчетная

кривая построена на основании несколько модифицированного соотношения для вносимых потерь, взятого из работы [3]:

$$\delta_{\text{вн}} = \frac{1024}{9} \frac{\pi}{\lambda^2 \omega} \left[ \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}}{ab} + \frac{2\pi}{3\lambda^2} \right] \rho^6. \quad (2)$$

Здесь  $\lambda$  — рабочая длина волны;

$a \times b$  — размеры прямоугольного волновода линии связи;

$\rho$  — радиус пятна поля основного типа колебания зеркала, на котором размещен элемент связи.

Первое слагаемое описывает потери на просачивание энергии в волновод связи, второе — потери на рассеяние и переизлучение в свободное пространство. Выражение для потерь получено в приближении, учитывающем влияние второго зеркала только на формирование распределения поля в резонаторе для случая, когда дифракционные потери пренебрежимо малы.

Сравнение обеих зависимостей показывает, что изменение суммарных вносимых потерь с ростом диаметра отверстия носит аналогичный характер, хотя экспериментальные точки находятся несколько ниже расчетных. Процентное отличие между обеими кривыми практически сохраняется почти во всем исследованном диапазоне, несмотря на то, что по абсолютной величине отличие становится более существенным по мере увеличения отверстия.

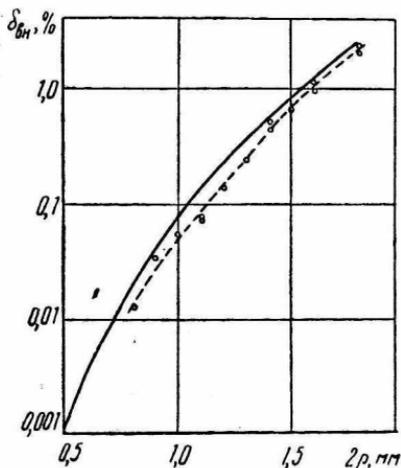


Рис. 2. Зависимость вносимых потерь от диаметра отверстия связи (расчетная кривая 2 — сплошная; экспериментальные точки соединены пунктиром).

К причинам, вызвавшим несоответствие теоретических и экспериментальных результатов, можно отнести следующее. При выводе соотношения (2) предполагалось, что отверстие в волноводе настолько мало по сравнению с линейными размерами его сечения, что поле на отверстии постоянно. В миллиметровом диапазоне такие малые отверстия приводят к очень слабой связи, к очень большим переходным затуханиям; практически они не употребляются. Измерить вносимые потери для случая, когда выполняется условие малости отверстия хотя бы приближенно (например,  $2\rho \leq 0,4$  мм), не было возможности, так как в этом случае вносимые потери были менее 0,01%, что сравнимо с погрешностью полученных экспериментальных данных. Собственные

потери резонатора 0,15%. Использование отверстий большого диаметра понижает среднее поле на отверстиях связи, что приводит к уменьшению коэффициента связи по сравнению с расчетным. Кроме того, может происходить неполное высвечивание из резонатора рассеянного отверстием поля вследствие того, что в миллиметровом диапазоне зеркала стоят друг от друга сравнительно близко и могут перехватывать часть рассеянной на неоднородности (в виде элемента связи) энергии резонирующего типа колебания.

Проверка показала, что несовершенство изготовления элемента связи и отклонения его формы от расчетной не могло привести к наблюдаемому расхождению.

Таким образом, сравнение расчетных и экспериментальных результатов показывает, что несмотря на то, что наблюдается качественное сходство обеих зависимостей, нарушение в миллиметровом диапазоне условия  $\rho \ll \lambda$  приводит к количественному отличию расчетных значений вносимых потерь от реальных. Следует ожидать, что по мере уменьшения рабочей длины волны это отличие будет возрастать.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Вайнштейн. Открытые резонаторы и открытые волноводы. Изд-во «Советское радио», 1966.
  2. Е. Л. Косарев, Ю. М. Ципенюк. Сб. «Электроника больших мощностей», вып. 5. Изд-во «Наука», 1968.
  3. Ю. Н. Казанцев. «Изв. вузов, Радиофизика», 10, 518. 1967.
  4. В. В. Камышан, Р. А. Валитов. ПТЭ, № 4, 1969.
-