

## Резонансные свойства аксиально-симметричных микроволновых резонаторов с коническими элементами

О. О. Дробахин, П. И. Заболотный<sup>1</sup>, Е. Н. Привалов<sup>1</sup>

Днепропетровский национальный университет имени О. Гончара,  
пер. Научный, 13, г. Днепропетровск, 49010, Украина

<sup>1</sup>Институт технической механики НАН и НКА Украины,  
ул. Лешко Попеля, 15, г. Днепропетровск, 49005, Украина  
E-mail: [mwave@ukr.net](mailto:mwave@ukr.net)

Статья поступила в редакцию 19 марта 2009 г.

Исследованы особенности механической перестройки параметров цилиндрических и биконических микроволновых резонаторов продольным перемещением аксиального стержня с коническим профилем. Показана зависимость между величиной угла конического участка на аксиальном стержне и параметрами исследованных резонаторов. Отмечено минимальное влияние продольного перемещения аксиального стержня с коническим элементом на структуру электрических полей резонаторов. Проведена экспериментальная проверка результатов расчетов для биконического резонатора. Получено хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных.

### 1. Введение

Механическая перестройка является одним из наиболее простых и эффективных способов изменения параметров объемных микроволновых резонаторов, применяемых в составе различных электронных устройств. Среди таких устройств следует упомянуть СВЧ-фильтры, элементы параметрической стабилизации частоты, волномеры, различные датчики и т. п. [1]. В первую очередь механическая перестройка резонансной частоты резонаторов должна обеспечивать:

– перестройку в требуемом частотном диапазоне, при котором выбранный тип колебаний был бы гарантированно единственным рабочим типом колебаний;

– максимально приближенную к линейной градуировочную характеристику резонатора (зависимость резонансной частоты от параметра механической перестройки резонатора);

– совпадение динамического диапазона перестройки по частоте резонатора и задающего микроволнового генератора;

– минимальное уменьшение добротности резонатора при возрастании коэффициента заполнения резонатора во всем диапазоне перестройки его резонансной частоты;

– постоянство коэффициента передачи резонатора во всем диапазоне перестройки.

Наиболее распространенными объемными резонаторами, позволяющими применять различные методы механической перестройки частоты, являются круглые цилиндрические резонаторы с рабочим типом колебаний  $H_{011}$ . В частности, в [2] представлены результаты исследования свойств круглых цилиндрических резонаторов с подвижными аксиальными проводниками постоянного диаметра и аксиальными проводниками со скачкообразным изменением диаметра. В этой работе показано, что путем подбора соотношения геометрических размеров элементов резонатора и выбором коридора продольного перемещения внутреннего аксиального проводника можно обеспечить выполнение основных требований к резонаторам с механической перестройкой

резонансной частоты. Однако даже при оптимальном выборе параметров СВЧ-резонатора вырождение типов колебаний  $H_{011}$  и  $E_{111}$  не устраняется.

Одновременное существование двух вырожденных типов колебаний приводит к значительному снижению добротности рабочего типа колебаний. Кроме того, не всегда удается обеспечить необходимую длину линейного участка перестройки резонансной частоты микроволнового резонатора путем перемещения аксиального стержня.

Для подавления паразитного типа колебаний  $E_{111}$  на практике используются различные поглотители или селективные устройства возбуждения электромагнитного поля рабочего типа колебаний  $H_{011}$ . Такие технические решения приводят к конструктивному усложнению СВЧ-резонаторов и не всегда являются оптимальными.

## 2. Постановка задачи

В [3-5] было показано, что в объемных резонаторах, содержащих участки с конической образующей, вырождение типов колебаний  $H_{011}$  и  $E_{111}$  устраняется. Это позволяет широко применять устройства с механической перестройкой на основе СВЧ-резонаторов с коническими элементами. Однако особенности изменения резонансной частоты, добротности, коэффициента связи резонатора при его механической перестройке изучены недостаточно.

Целью настоящей работы является исследование влияния продольного перемещения аксиального стержня, содержащего участок с коническим профилем, на резонансные свойства биконических и цилиндрических резонаторов.

Для исследования указанных зависимостей рассматривались два вида резонаторов:

- биконический резонатор с диаметром основания  $D$ , с углом конуса при вершине  $\alpha_0$ , длиной  $2L_0$  (см. рис. 1, а);
- цилиндрический резонатор диаметром  $D$ , длиной  $L_0$  (см. рис. 1, б).

Биконический резонатор состоит из двух конических элементов (на рис. 1, а они обозначены как области 1 и 2) с общим основанием. Центр общего основания конических элемен-

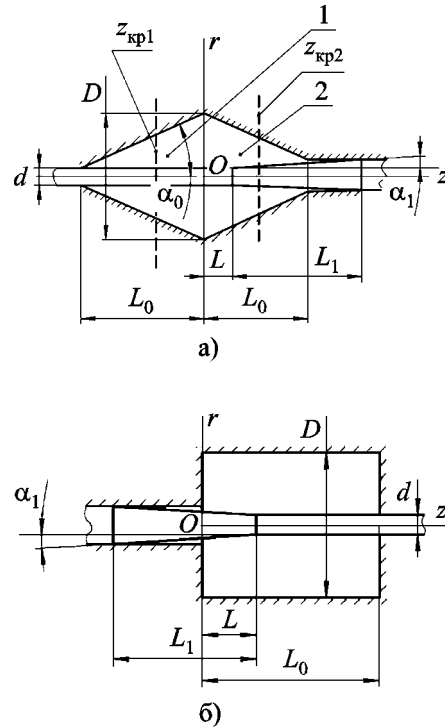


Рис. 1. Продольное сечение биконического (а) и цилиндрического (б) резонаторов с аксиальными коническими стержнями

тов выбран в качестве начала цилиндрической системы координат, которая использовалась в последующих расчетах. Кроме того, на рис. 1, а для каждого из конических элементов биконического резонатора показаны проекции плоскостей критических сечений  $z_{кр1}$  и  $z_{кр2}$ .

Решение поставленной задачи выполнялось путем численного расчета электромагнитных полей методом конечных элементов (МКЭ) с учетом азимутальной симметрии [6]. Предполагалось, что объемные резонаторы и аксиальный стержень изготовлены из меди, а внутренний объем резонаторов заполнен воздухом.

Для сокращения объема вычислений и с учетом азимутальной симметрии выбранного рабочего типа колебаний  $H_{011}$  расчеты проводились в области, ограниченной двумя продольными секущими плоскостями, расположенными под углом  $10^\circ$  друг к другу. На поверхности секущих плоскостей задавались граничные условия, соответствующие идеальной электрической стенке. Максимальный линей-

ный размер элементов расчетной сетки не превышал  $0.05D$ . Моделирование механической перестройки частоты резонаторов выполнялось путем изменения продольной координаты  $z$  плоскости сопряжения цилиндрической и конической части центрального стержня.

Расчеты резонансной частоты  $f$  и добротности  $Q$  проводились для резонаторов с различными геометрическими размерами как самой внутренней полости резонатора, так и внутреннего конического элемента. Длина конического участка аксиального стержня  $L_1$  подбиралась таким образом, чтобы можно было провести моделирование двух предельных случаев заполнения резонатора на всю его длину:

1) аксиальным цилиндрическим участком стержня;

2) аксиальным коническим участком стержня с углом наклона образующей  $\alpha_1$ .

При расчетах параметров резонаторов с неизменными размерами внутренней полости варьируемыми параметрами были:  $\alpha_1$  – угол конического перехода на внутреннем аксиальном стержне, и  $L$  – продольная координата плоскости сопряжения конической и цилиндрической части внутреннего стержня.

Для анализа и обсуждения полученные результаты были приведены к безразмерному виду. Геометрические размеры биконического резонатора нормировались на диаметр оснований его конических элементов, а цилиндрического – на диаметр резонатора. Частотные характеристики резонаторов представлялись через безразмерную величину  $kD$ , где  $k = 2\pi(f/c)$ ,  $f$  – резонансная частота,  $c$  – скорость света в вакууме.

### 3. Обсуждение результатов расчетов

Проведенные расчеты показали, что изменение геометрических размеров как самого резонатора, так и аксиального стержня с коническим участком приводит к смещению диапазонов перестройки резонансных параметров. Картина зависимости резонансных параметров для обоих рассматриваемых типов резонаторов с изменением продольного положения аксиального стержня качественно не меняется. Будем рассматривать данные, полученные для биконических резонаторов с параметрами:

$$\alpha_0 = 30^\circ, L_0/D = 0.86, d/D = 0.034, L_1/D = 1.4;$$

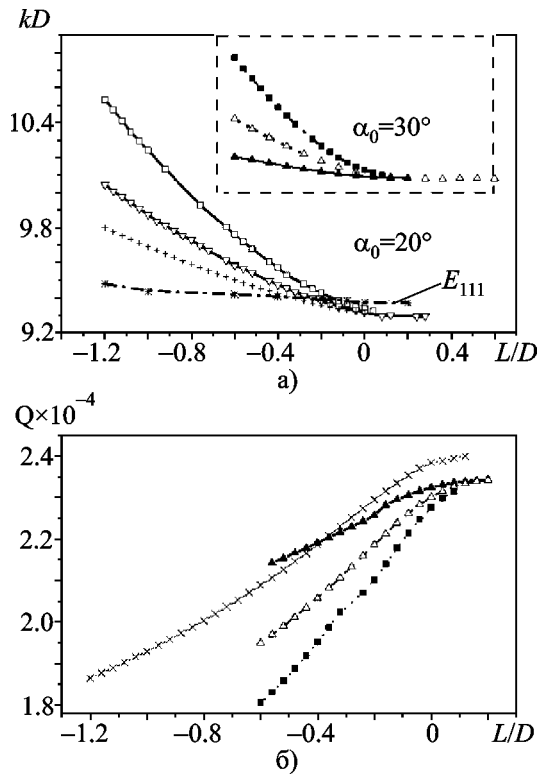
$$\alpha_0 = 20^\circ, L_0/D = 1.4, d/D = 0.034, L_1/D = 2.4;$$

и для цилиндрического резонатора с  $L_0/D = 0.8, d/D = 0.034$ .

На рис. 2 представлены результаты расчетов зависимости нормированной резонансной частоты и добротности биконического резонатора от продольной координаты плоскости сопряжения цилиндрического и конического участков внутреннего аксиального стержня и угла  $\alpha_1$ . В области, ограниченной штриховой линией, на рис. 2, а приведены результаты расчетов зависимости нормированной резонансной частоты для биконического резонатора с  $\alpha_0 = 30^\circ$ , а ниже – для биконического резонатора с  $\alpha_0 = 20^\circ$ . Там же показана кривая отображающая зависимость резонансных частот для колебаний типа  $E_{111}$  в биконическом резонаторе с  $\alpha_0 = 30^\circ$  от продольного положения стержня с  $\alpha_1 = 5.5^\circ$ . Для упрощения визуального восприятия на рис. 2, б приведены три кривых для резонатора с  $\alpha_0 = 30^\circ$  и одна – для резонатора с  $\alpha_0 = 20^\circ$ .

Из представленных результатов видно, что увеличение  $\alpha_1$  приводит к расширению динамического диапазона перестройки резонансной частоты и изменению добротности резонаторов, а также к росту крутизны их перестройки. Отметим, что одному и тому же положению аксиального стержня с большим значением угла  $\alpha_1$  соответствует более низкое значение добротности резонаторов и более высокое значение резонансной частоты. Кроме того, с увеличением  $\alpha_1$  наблюдается сужение участка  $\Delta L/D$ , на котором форма кривых перестройки как резонансной частоты, так и добротности близка к линейной.

Сопоставление диапазонов перестройки резонатора с  $\alpha_0 = 30^\circ$  для рабочего типа колебаний  $H_{011}$  и паразитного типа колебаний  $E_{111}$  показывает, что они не пересекаются. Следует отметить и то, что динамический диапазон перестройки резонансной частоты для типа колебаний  $E_{111}$  существенно меньше, чем для колебаний типа  $H_{011}$ . Аналогичная картина взаимного расположения резонансных кривых для колебаний этих типов наблюдается и в резонаторах с  $\alpha_0 = 20^\circ$ .



**Рис. 2.** Зависимость нормированных собственных резонансных частот (а) и добротности (б) биконических резонаторов от продольной координаты плоскости сопряжения цилиндрического и конического участков внутреннего аксиального стержня: —■—  $\alpha_0 = 30^\circ$ ,  $\alpha_1 = 9^\circ$ ; — $\Delta$ —  $\alpha_0 = 30^\circ$ ,  $\alpha_1 = 5.5^\circ$ ; — $\blacktriangle$ —  $\alpha_0 = 30^\circ$ ,  $\alpha_1 = 2.5^\circ$ ; — $\square$ —  $\alpha_0 = 20^\circ$ ,  $\alpha_1 = 8.5^\circ$ ; — $\nabla$ —  $\alpha_0 = 20^\circ$ ,  $\alpha_1 = 5.5^\circ$ ; — $\times$ —  $\alpha_0 = 20^\circ$ ,  $\alpha_1 = 4^\circ$

В табл. 1 представлены приближенные значения изменений нормированных резонансных частот биконических резонаторов  $\Delta kD$  на участках линейной перестройки и протяженности этих участков  $\Delta L/D$ , а также крутизны перестройки  $\Delta k/\Delta L$  в зависимости от  $\alpha_0$  и  $\alpha_1$ .

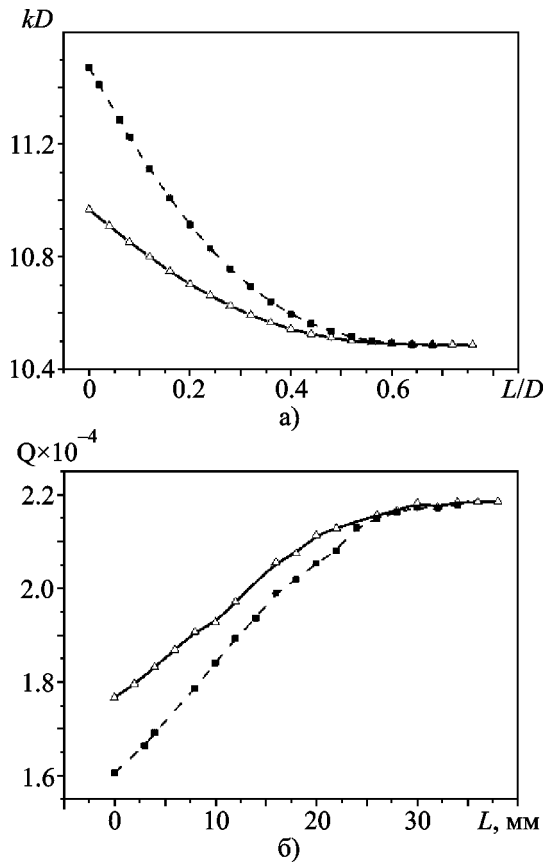
Сравнение результатов, полученных для биконических резонаторов с разными  $\alpha_0$  и близкими  $\alpha_1$  показывает, что изменение угла раскрытия конусов  $\alpha_0$  приводит к смещению частотного диапазона и к изменению протяженности участка перестройки параметров резонатора. Изменение соотношения углов  $\alpha_0$  и  $\alpha_1$  при постоянных значениях диаметра оснований конусов биконического резонатора и диаметра цилиндрического участка стержня позволяет гибко варьировать допустимый интервал перемещения аксиального стержня, динамический диапазон перестройки резонансной частоты, протяженность участка линейной перестройки резонансной частоты и добротности. Это, в свою очередь, расширяет возможности практического применения биконических резонаторов.

На рис. 3 представлены результаты расчетов зависимости нормированной резонансной частоты и добротности цилиндрического резонатора от нормированной продольной координаты плоскости сопряжения цилиндрического и конического участков аксиального стержня при значениях  $\alpha_1$  равных 5 и 9°.

Оценки приближенных значений изменения нормированных резонансных частот цилиндрического резонатора на участках линейной перестройки и протяженности этих участков

**Таблица 1.** Приближенные значения изменений нормированных резонансных частот биконических резонаторов на участках линейной перестройки и протяженности этих участков

$\alpha_1, ^\circ$	$\Delta kD$		$\Delta L/D$		$\Delta k/\Delta L$	
	$\alpha_0 = 20^\circ$	$\alpha_0 = 30^\circ$	$\alpha_0 = 20^\circ$	$\alpha_0 = 30^\circ$	$\alpha_0 = 20^\circ$	$\alpha_0 = 30^\circ$
2.5	—	0.10	—	0.44	—	0.22
4	0.37	—	0.75	—	0.49	—
5.5	0.47	0.21	0.63	0.36	0.74	0.58
8.5	0.65	—	0.49	—	1.32	—
9	—	0.31	—	0.32	—	0.96



**Рис. 3.** Зависимость нормированных собственных резонансных частот (а) и добротности (б) цилиндрического резонатора от продольной координаты плоскости сопряжения цилиндрического и конического участков внутреннего аксиального стержня:  $-\Delta-$  –  $\alpha_1 = 5^\circ$ ;  $-\blacksquare-$  –  $\alpha_1 = 9^\circ$

для резонатора с  $\alpha_1 = 5^\circ$  и  $\alpha_1 = 9^\circ$  приведены в табл. 2.

Из сравнения полученных данных для цилиндрических и биконических резонаторов, приведенных в табл. 1 и табл. 2, видно, что цилиндрические резонаторы более чувствительны к перемещению аксиального стержня с коническим участком. Однако у биконических резонаторов при равных  $\alpha_1$  больше протяженность участка линейной перестройки резонансной частоты за счет изменения  $\Delta L/D$ .

Зависимость резонансной частоты цилиндрического резонатора от продольной координаты стержня с коническим участком можно дополнительно сравнить с зависимостью резонанс-

**Таблица 2.** Приближенные значения изменений нормированных резонансных частот цилиндрического резонатора на участках линейной перестройки

$\alpha_1, \text{ }^\circ$	$\Delta kD$	$\Delta L/D$	$\Delta k/\Delta L$
5	0.29	0.22	1.30
9	0.57	0.2	2.8

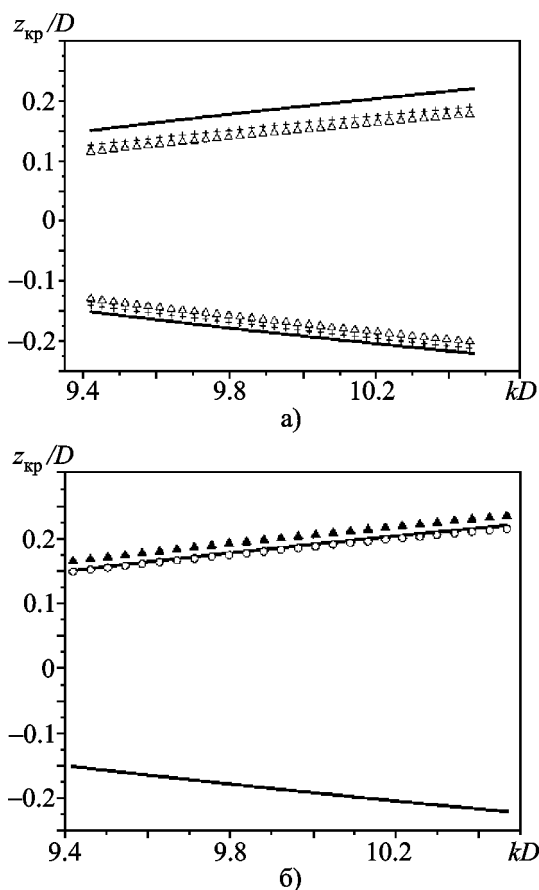
ной частоты цилиндрического резонатора от положения стержня со скачкообразным изменением диаметра [2]. Отметим существенное различие формы кривых перестройки как добротности, так и резонансной частоты. При перемещении стержня со скачкообразным изменением диаметра из одного крайнего положения в другое участок с незначительной чувствительностью резонансной частоты переходит в участок с большой крутизной перестройки. Далее опять следует участок с малой крутизной перестройки. Перемещение аксиального стержня с коническим участком в положительном направлении оси  $z$  из одного крайнего положения в другое с самого начала вызывает убывание резонансной частоты. При достижении стержнем некоторой граничной координаты параметры резонаторов остаются неизменными.

Аналогичная картина наблюдается и в биконических резонаторах. Но особенностью биконических резонаторов является то, что граничная координата стержня, за пределами которой параметры резонаторов не перестраиваются, находится ближе к их центру – в области 2 (рис. 1).

Для объяснения таких особенностей механической перестройки параметров резонаторов целесообразно привлечь понятие о критических сечениях в резонаторах с переменным поперечным профилем [7]. Известно, что за пределами критических сечений выбранный рабочий тип волны не распространяется. В биконическом резонаторе таких критических сечений два. Исходя из равенства нулю постоянной распространения были определены координаты критических сечений ( $z_{кр1}$  и  $z_{кр2}$ ) в каждой из частей биконического резонатора при выбранном рабочем типе колебаний для различных положений аксиального стержня.

На рис. 4 представлены рассчитанные значения координат плоскостей критических сечений при заданных значениях резонансной частоты для нескольких положений аксиального стержня.

Для сравнения смещений координаты критических сечений при продольном перемещении аксиального стержня с коническим участком в качестве базовых были выбраны координаты критических сечений, найденные при условии, что аксиальный стержень по всей длине резонатора является круглым цилиндрическим. На представленных графиках результаты расчетов для этого случая показаны сплошными



**Рис. 4.** Частотная зависимость координаты плоскостей критического сечения при положении плоскости сопряжения цилиндрического и конического участков внутреннего аксиального стержня в области 1 (а) и области 2 (б): — —  $d/L = 0.06$  (цилиндр);  $\Delta$  —  $L/D = -0.6$ ;  $+$  —  $L/D = -0.4$ ;  $\blacktriangle$  —  $L/D = 0.6$ ;  $\circ$  —  $L/D = 0$

линиями, расположенными симметрично относительно нулевого значения  $z/D$ .

Как видно из графиков на рис. 4, а, если плоскость сопряжения цилиндрической и конической части стержня находится в области 1 и перемещается в сторону уменьшения  $z_{кр}/D$ , то наблюдается сдвиг критических сечений в сторону плоскости оснований конусов, образующих резонатор.

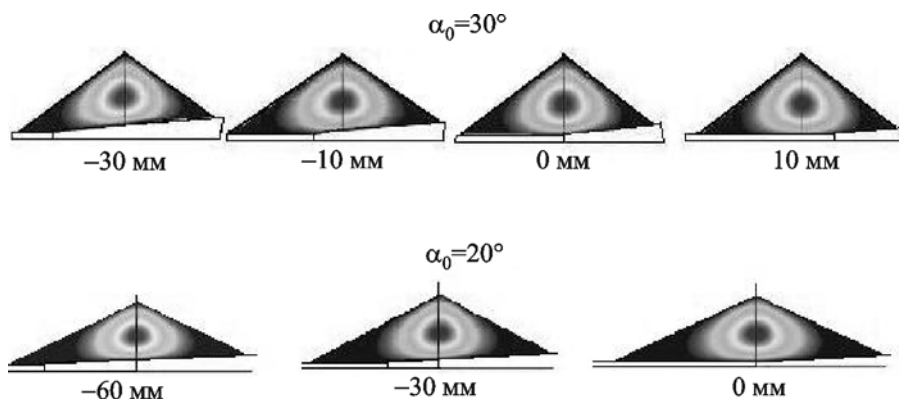
При перемещении плоскости сопряжения цилиндрической и конической части стержня в области 2 (рис. 4, б) для одного и того же значения нормированной резонансной частоты координата  $z_{кр1}/D$  остается неизменной, а  $z_{кр2}/D$  изменяется незначительно. Этот факт объясняет наличие горизонтальных участков на кривых механической перестройки резонансной частоты (рис. 2, а) биконического резонатора, так как резонансная частота определяется расстоянием между критическими сечениями и некоторой функцией от постоянной распространения [7].

При перемещении в цилиндрическом резонаторе аксиального стержня с коническим участком зависимости параметров резонансов имеют характер подобный рассмотренному выше.

Одним из основных параметров, характеризующим возможность практического применения объемных микроволновых резонаторов, является коэффициент передачи. Очень важно, чтобы в процессе продольного перемещения аксиального стержня он был постоянным или изменялся минимально. Косвенным подтверждением постоянства коэффициента передачи может быть отсутствие смещения максимума электрического поля в объеме резонатора в процессе его механической перестройки.

Распределение структуры электрического поля было получено с помощью МКЭ для различных продольных координат аксиального стержня в обоих рассматриваемых резонаторах.

На рис. 5 можно наблюдать динамику изменения структуры электрического поля в биконических резонаторах с  $\alpha_0 = 20^\circ$  и  $\alpha_0 = 30^\circ$  в зависимости от изменения продольного положения аксиального стержня с коническим участком при  $\alpha_1 = 9^\circ$ . Наиболее затемненная область в центральной части резонаторов соответствует области наибольшей напряженности



**Рис. 5.** Динамика изменения структуры электрического поля в биконическом резонаторе при изменении продольного положения аксиального стержня

электрического поля. Хорошо видно, что при продольном перемещении стержня эта часть поля подвергается минимальной деформации. Следовательно, если элементы связи будут расположены в центре боковой поверхности резонатора, то при механической перестройке будет обеспечено минимальное изменение коэффициента передачи.

Аналогичная картина будет иметь место при перемещении аксиального стержня с коническим элементом в цилиндрическом резонаторе. В этом случае структура поля также подвержена минимальной деформации, и при расположении элементов связи на боковой поверхности в центре резонатора коэффициент передачи будет практически неизменен.

#### 4. Экспериментальная проверка результатов численных исследований

Для проверки результатов расчетов был разработан и изготовлен макет измерительного устройства (см. рис. 6, а) на основе биконического резонатора (см. рис. 6, б) с параметрами:  $D = 50$  мм,  $L_0 = 43.301$  мм,  $\alpha_0 = 30^\circ$ ,  $d = 3$  мм и  $\alpha_1 = 5.5^\circ$ , – который позволил провести измерения зависимости резонансной частоты резонатора от продольной координаты стержня с коническим участком.

Измерения проводились с использованием панорамного измерителя Р2-61 и волномера. Исследуемый резонатор и волномер установ-

ливались в измерительный тракт по схеме измерения коэффициента передачи.

Результаты измерений и расчетов представлены на рис. 7. Расчеты зависимости резонансной частоты от продольного перемещения стержня были проведены для биконических резонаторов с углами при вершине конуса  $\alpha_0 = 30^\circ$  и  $30.5^\circ$ . Как видно из представленных результатов, расхождение расчетных (для  $\alpha_0 = 30^\circ$ ) и экспериментальных значений резонансной частоты биконического резонатора носит систематический характер во всем исследованном диапазоне продольного перемещения стержня и не превышает 45 МГц. Отметим, что погрешность определения вершины резонансного пика составляла не более 1.5 МГц (соответствует цене одного деления волномера), а отклонение амплитуды наблюдаемого резонансного сигнала во всем диапазоне перемещения стержня относительно амплитуды резонансного сигнала в точке  $z = 0$  – не более 0.5 дБ.

Систематическое расхождение расчетных и экспериментальных значений резонансной частоты, наиболее вероятно, вызвано погрешностью изготовления биконического резонатора. В первую очередь, это относится к углу конуса при вершине, для которого погрешность при изготовлении может достигать  $0.5^\circ$ . Подтверждением этому может быть то, что экспериментальная кривая расположена внутри коридора, образованного зависимостями резонансной частоты, рассчитанными для резонатора с  $\alpha_0 = 30^\circ$  и  $30.5^\circ$ .

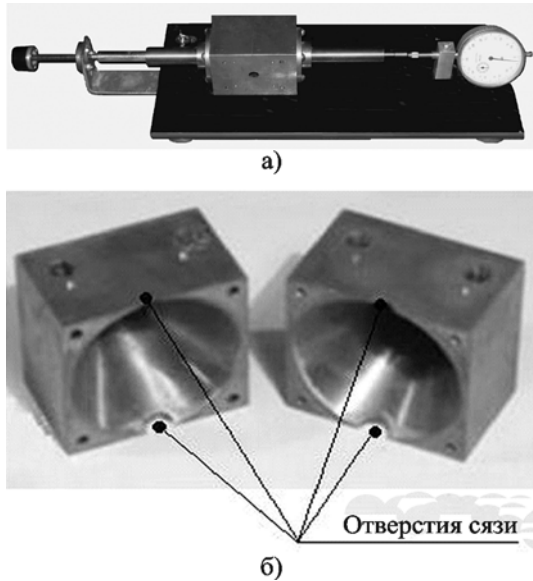


Рис. 6. Макет измерительного устройства (а) и биконический СВЧ резонатор (б)

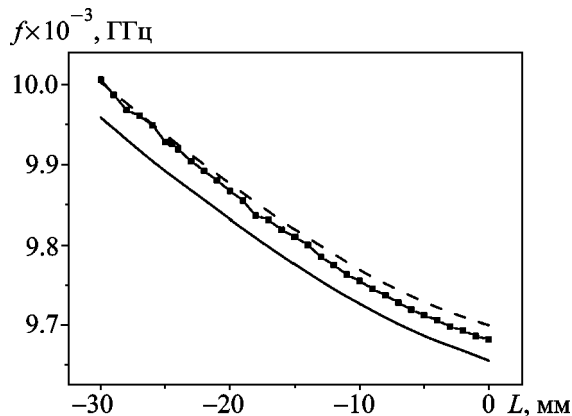


Рис. 7. Зависимость значений резонансных частот биконического резонатора с  $D = 50$  мм,  $\alpha_1 = 5.5^\circ$  от продольной координаты внутреннего аксиального стержня: —■— экспериментальные данные при  $\alpha_0 = 30^\circ$ ; — — расчетные при  $\alpha_0 = 30^\circ$ ; - - - - расчетные при  $\alpha_0 = 30.5^\circ$

### Выводы

В результате проведенных исследований зависимости резонансных свойств биконических и цилиндрических микроволновых резонаторов от механической перестройки их параметров аксиальным проводником с коническим участком установлено следующее:

- возрастание величины угла конического участка на аксиальном стержне приводит к расширению динамического диапазона перестройки резонатора и возрастанию чувствительности резонансной частоты и добротности к продольному перемещению аксиального стержня;

- для биконического резонатора можно регулировать длину интервала механической перестройки резонаторов, ширину динамического диапазона перестройки резонансной частоты, изменяя соотношение углов  $\alpha_0$  и  $\alpha_1$  при постоянных диаметрах оснований конусов биконического резонатора и диаметре цилиндрического участка стержня;

- по сравнению с биконическими цилиндрические резонаторы более чувствительны к механической перестройке аксиальным стержнем с коническим участком;

- при равных геометрических размерах внутреннего перемещаемого аксиального стержня длина участка линейной перестройки резонансной частоты у биконического резонатора больше, чем у цилиндрического;

- продольное перемещение аксиального стержня с коническим элементом в цилиндрическом и биконическом резонаторах минимально деформирует структуру их электрических полей, что обеспечивает постоянство коэффициента передачи резонатора.

### Литература

1. Makimoto M., Yamashita S. Microwave resonators for wireless communication. Theory, design and application. – Berlin.: Springer – Verlag, 2001. – 162 p.
2. Дробахин О. О., Заболотный П. И., Привалов Е. Н. Датчики перемещений на основе круглых цилиндрических СВЧ-резонаторов // Техника и приборы СВЧ. – 2008. – № 2. – С. 24-29.
3. Harrington R. F. Time-harmonic electromagnetic fields. – New York: Wiley, 2001. – 480 p.
4. Маттей Д. Л., Янг Л., Джонс Е. М. Т. Фильтры СВЧ. Согласующие цепи и цепи связи. Том II. – М.: Связь, 1972. – 249 с.
5. Thal Herbert L. Cylindrical  $TE_{011}/TM_{111}$  mode control by cavity shaping // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 1979. – Vol. MTT-27, No. 12. – P. 982-986.
6. Сильвестер П., Феррари Р. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 229 с.
7. Машковцев Б. М., Цибизов К. Н., Емелин Б. Ф. Теория волноводов. – М.: Наука, 1966. – 352 с.



**Резонансні властивості аксиально-симетричних мікрохвильових резонаторів з конічними елементами**

**О. О. Дробахін, П. І. Заболотний,  
Є. М. Привалов**

Досліджено особливості механічної перестройки параметрів циліндричних та біконічних мікрохвильових резонаторів поздовжнім переміщенням аксіального стержня з конічним профілем. Показано залежність між величиною кута конічної ділянки на аксіальному стержні і параметрами досліджених резонаторів. Відзначено мінімальний вплив поздовжнього переміщення аксіального стержня з конічним елементом на структуру електричних полів резонаторів. Експериментально перевірено розрахунки для біконічного резонатора. Отримано добрий збіг експериментальних та розрахункових даних.

**Resonance Properties of Axially Symmetrical Microwave Resonators with Conical Elements**

**O. O. Drobakhin, P. I. Zabolotny,  
and E. N. Privalov**

Characteristic of cylindrical and biconical resonator parameter tuning by longitudinal mechanical shifting of axial rod with conical profile is investigated. The connection between the angle value of a conical part of the axial rod and the parameters of the resonators investigated is studied. Minimal influence of longitudinal mechanical shifting of the axial rod with a conical profile on the structure of resonator electrical fields is shown. The calculations are experimentally verified. The experiments have shown good agreement of the results.