

## **Миниатюрный двухзазорный резонатор для микроволновых приборов с матричными автоэмиссионными катодами<sup>1</sup>**

*Представлены результаты разработки спиральных двухзазорных резонаторов на печатной схеме, выполненных на основе высокодобротной полосковой линии. Такие резонаторы имеют две кратные частоты  $f1=0.5f2$ , соответствующие противофазному и синфазному видам колебаний. Они предназначены для использования в качестве колебательных систем вакуумных многолучевых микроприборов клистронного типа с матричными автоэмиссионными катодами с выходной мощностью 100- 500 Вт в импульсном режиме, работающих на частотах выше 9 ГГц.*

**Ключевые слова:** двухзазорный резонатор, многолучевой СВЧ генератор, микроволновые приборы, автоэмиссия, двухмодовый режим взаимодействия

В связи с появлением новых высокоэффективных СВЧ генераторов клистронного типа с матричными автоэмиссионными катодами (МАЭК), появляется острая необходимость в разработке миниатюрных резонаторов, изготавливаемых в едином технологическом цикле с МАЭК [1].

Для повышения КПД и выходной мощности таких устройств целесообразно переходить к конструкциям приборов с использованием двухзазорных резонаторов, работающих в двухмодовом режиме на основной ( $\pi$ ) и удвоенной ( $2\pi$ ) частотах [2, 3]. Схематическое изображение конструкции многолучевого генераторного устройства с двухмодовым двухзазорным резонатором приведено на рис. 1.

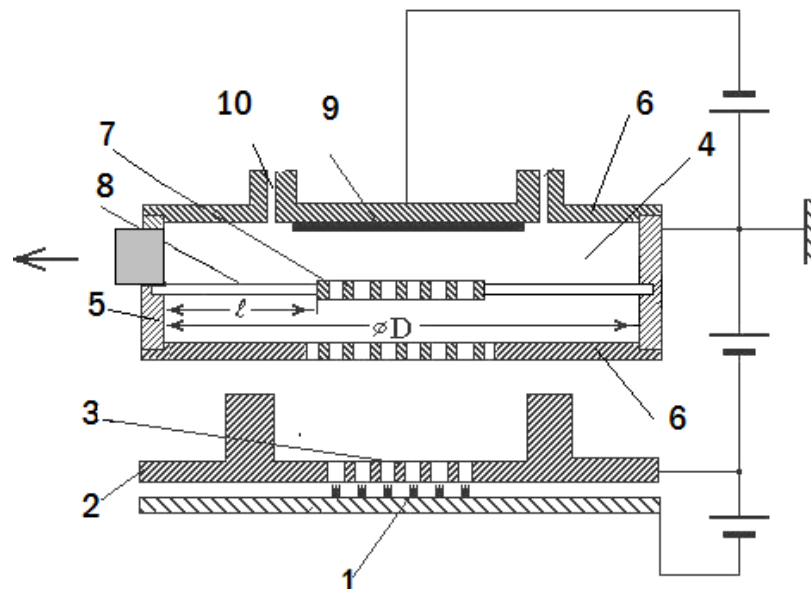


Рисунок 1

<sup>1</sup> Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.В37.21.0909 «Исследование физических процессов в мощных многолучевых СВЧ электровакуумных приборах с электродинамическими системами, выполненными на основе многомодовых резонаторов»

Особенностью этого устройства, представляющего собой многолучевой генератор тормозящего поля (МГТП), является дополнительное увеличение плотности многолучевого потока, получаемого за счет автоэмиссии, путем добавления электронов за счет вторичной электронной эмиссии с отражателя. На этом рисунке цифрами обозначены основные элементы устройства: 1 – система матричных автоэмиссионных катодов, 2 – ускоряющий электрод; 3 – отверстия для пролета первичного электронного потока; 4 – двухззорный резонатор; 5 – корпус резонатора; 6 – боковые крышки; 7 – центральный электрод; 8 – внутренний проводник; 9 – отражатель с вторично-эмиссионным покрытием; 10 – блокировочная емкость. Опорным элементом для центрального электрода двухззорного резонатора является внутренний проводник. Традиционная технология изготовления такого резонатора не может в коротковолновой части СВЧ диапазона обеспечить необходимую точность и качество изготовления, следствием чего может возникнуть сильный разброс его параметров

В связи с этим большой интерес для разработки МГТП с МАЭК представляют миниатюрные двухззорные полосковые резонаторы, выполненные на основе высокочастотной линии с подвешенной керамической подложкой [4]. Внешний вид этого резонатора показан на рис. 2. Он имеет цилиндрический корпус, на торцевых стенках которого закреплены боковые пролетные трубы, а центральная пролетная труба размещена на диэлектрической перегородке, на обеих поверхностях которой выполнен, по крайней мере, один полосковый проводник в виде спирали, соединяющий эту пролетную трубу с корпусом. В пролетных трубах выполнены каналы для пропускания семилучевого электронного потока.

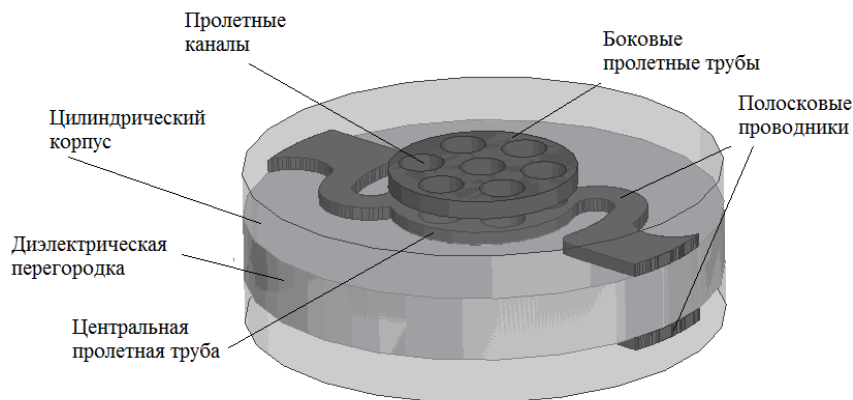


Рисунок 2

В таких колебательных системах основной резонансной модой является противофазный (ТЕМ-вид) колебаний с длиной волны  $\lambda_1$ , возбуждаемой в полуволновой полосковой резонансной линии, нагруженной на емкость двойного зазора. Отметим, что на этом виде характеристическое сопротивление в 1,5-2,0 раза выше, чем у одноззорного резонатора. На практике, как правило, достаточно знать, как ведет себя вторая мода относительно первой, т.е. отношение  $K=f_2/f_1$ . Низший объемный (синфазный) вид колебаний  $E_{010}$  обычно отличается по длине волны  $\lambda_2$  от основного вида в 1,5-1,8 раза, и на этом виде резонатор также имеет сравнительно высокое характеристическое сопротивление. Кроме того, резонатор имеет малые размеры и массу, повышенную устойчивость к воздействию ударов и вибрации. Применяемая при его изготовлении пленочная технология позволит

обеспечить высокую точность изготовления мелкоструктурных элементов системы с жесткими допусками и автоматизировать их производство. При массовом выпуске таких приборов их цена может быть сравнительно небольшой.

Однако разработка и проектирование подобных резонансных систем для двухмодового режима наталкиваются на большие трудности, связанные со сложным спектром собственных частот и с неоднородным характером распределения ВЧ электрического поля в пространстве взаимодействия. Оптимизация параметров таких резонаторов с целью обеспечения двухмодового возбуждения колебаний также затруднена из-за большого количества влияющих факторов. Все это обуславливает актуальность применения автоматизированного проектирования многомодовых колебательных систем с применением современного программного обеспечения, реализующего трехмерные численные методы расчета.

Целью настоящей работы является исследование с помощью программы 3-D компьютерного моделирования REZON [5] двухмодового режима возбуждения двухазорного резонатора с отношением частот  $K=2$ .

В результате проведенных численных расчетов были найдены оптимальные параметры конструкции резонатора, позволяющего осуществить одновременное возбуждение на частотах 8,8 ГГц (противофазный вид колебаний –  $\lambda_1$ ), а также на частоте 17,6 ГГц (синфазный вид колебаний –  $\lambda_2$ ). Характерные размеры резонатора, которые не менялись в процессе моделирования, показаны на рис. 3, а их значения приведены в таблице 1.

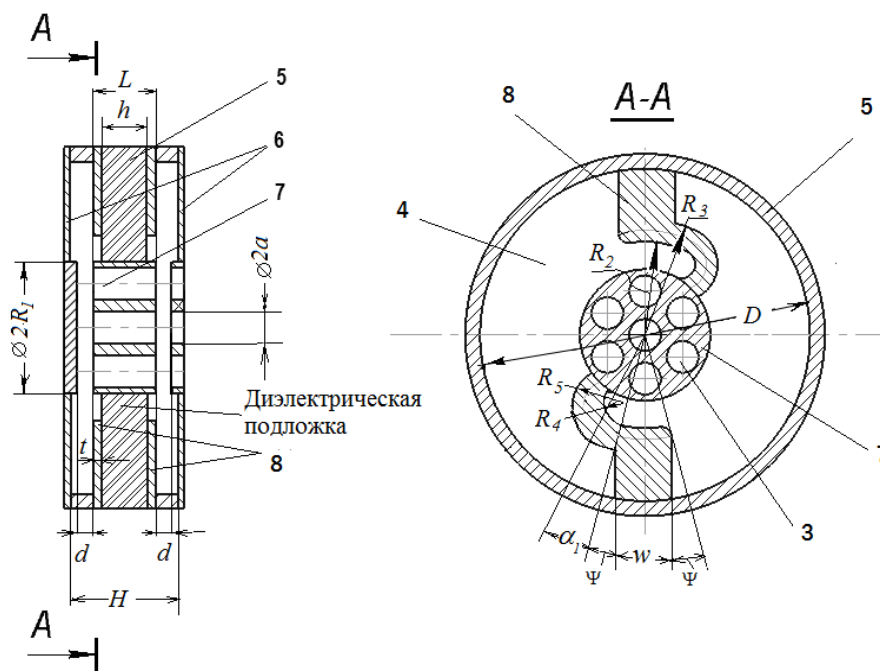


Рисунок 3

Таблица 1

№	Параметры резонатора						
	$R_1$ , мм	$H$ , мм	$L$ , мм	$a$ , мм	$t$ , мм	$d$ , мм	$h$ , мм
1	1,45	2,4	1,4	0,35	0,2	0,35	1,0
2	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$	$R_7$	$W$
4	2,31	2,56	0,305	0,81	0,253	3,67	1,26

В процессе расчетов изменялись следующие параметры: диаметр резонатора  $D$ ; длина внутреннего проводника и относительная диэлектрическая проницаемость подложки. Установлено, что относительная длина волны низшего синфазного вида колебаний определяется в основном диаметром резонатора и слабо зависит от длины полоскового проводника и его ширины. Оказалось, что растет с увеличением относительной диэлектрической проницаемости подложки. Эта зависимость показана на рис. 4.

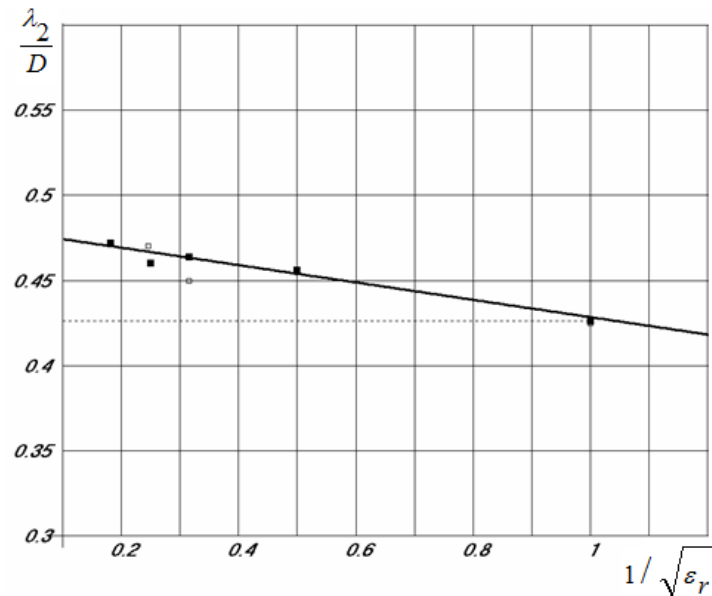


Рисунок 4

Из рис. 5 видно, что частота низшего противофазного вида колебаний определяется в основном длиной полосковых элементов и величиной диэлектрической проницаемости.

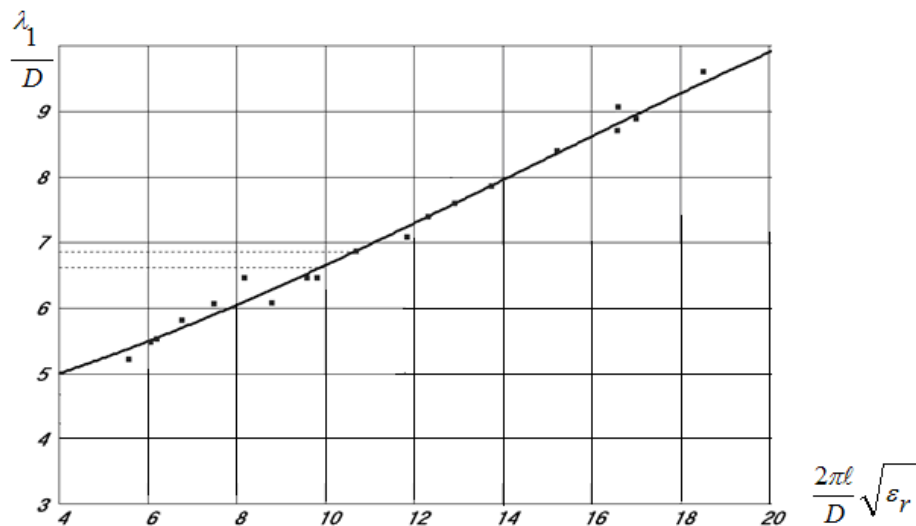


Рисунок 5

Таким образом, изменением длины внутреннего проводника (т.е. изменением угла  $\alpha_1$ ) можно практически независимо изменять частоту противофазного вида колебаний, а настройку на синфазный вид, при выбранном значении диэлектрической проницаемости, можно осуществлять путем подбора диаметра резонатора.

Проведенные расчеты показали, что зависимости отношения частот низшего синфазного и противофазного видов колебаний при замене двух полосковых элементов

одним цельнометаллическим проводником достигается отношение частот  $K=1,8-1,9$ . Показано, что для реализации высокоэффективного двухмодового режима взаимодействия ( $K=2$ ) в автогенераторных приборах, необходимо так выбирать статический угол пролета

$$\Theta_0 = \frac{\omega(2d + L)}{V_0},$$

(где  $V_0$  – скорость пучка), чтобы величины относительной активной

шунтирующей электронной проводимости  $G_e/G_0$  имели бы отрицательные значения (рис. 6), а коэффициенты взаимодействия  $M$  достигали максимального значения, как на противофазном, так и на синфазном видах (рис. 7).

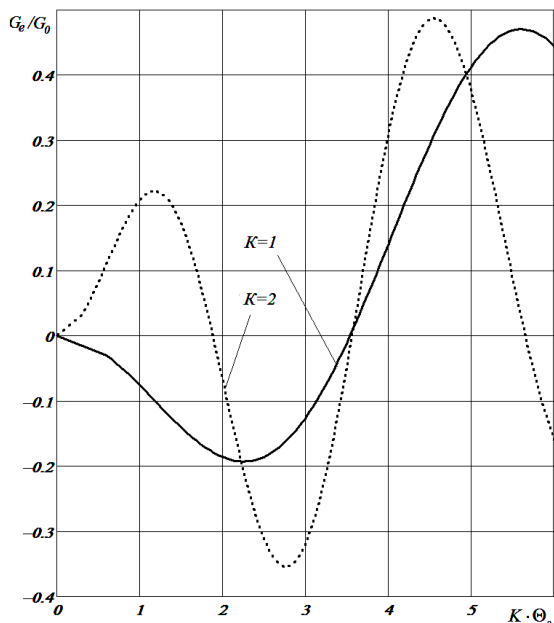


Рисунок 6

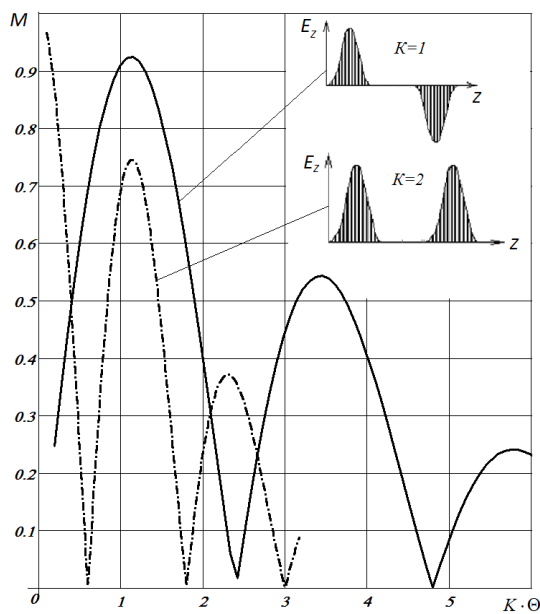


Рисунок 7

Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых вакуумных типов многолучевых микроприборов клистронного типа с матричными автоэмиссионными катодами с выходной мощностью 100 - 500 Вт в импульсном режиме, работающих на частотах выше 9 ГГц.

#### Библиографический список

1. Analysis of the possibility of performing microminiature low-voltage electronic devices for vacuum millimeter-wavelength integral circuits / Yu.V. Gulyaev et al. // - Proc. from the Int. Conf. on Millimeter and Submillimeter Waves and Applications. - San-Diego, Calif., USA. – 1994. - pp. 159-165.
2. Пат. №2037903 Российская Федерация, МКП Н 01 J 23/18. Резонатор для несинусоидального сигнала / Клокотов В.М., Царев В.А., Ширшин В.И.; заявитель и патентообладатель "Саратовский государственный технический университет". - №4945620/10; заявл. 16.06.1991; опубл. 19.06.1995.
3. Пат. №2457572 Российская Федерация, МПК Н 01 J 25/20. СВЧ-генератор с матричным автоэмиссионным катодом с отражением электронного потока / Царев В.А., Мирошниченко А.Ю., Акафьева Н.А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный технический университет". – №2011104833/07; заявл. 09.02.2011; опубл. 27.07.2012.
4. Пат. №1723944 Российская Федерация, МКП Н 01 J 25/12. Клистрон / Царев В.А., Клокотов В.М.; Фисенко Р.Н.; заявитель "Саратовский политехнический институт"; патентообладатель "Саратовский государственный технический университет". - № 4819094/21; заявл. 29.03.1990; опубл. 15.12.1994.
5. Мучкаев В.Ю. REZON / В.Ю. Мучкаев, В.А. Царев // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2011611748 от 24.02.2011.