

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.385

СЕЛЕКЦИЯ МОД H_{0in} И E_{1in} В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ РЕЗОНАТОРЕ С КРУГОВЫМ СЕЧЕНИЕМ

А.А. КУРАЕВ, В.В. МАТВЕЕНКО

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 19 июня 2017

Аннотация. Цилиндрические резонаторы с рабочими модами H_{0in} находят широкое применение в измерительной технике и гирорезонансных приборах СВЧ. Однако совпадающий с H_{0in} резонанс имеют моды E_{1in} . В сообщении показано, что для отстройки E_{1in} следует использовать кольцевые щели у торцевых стенок резонатора.

Ключевые слова: цилиндрические резонаторы на модах H_{01n} , циклотронный резонанс, гиротрон.

Abstract. The cylindrical resonators at operating H_{0in} modes are widely used in measuring technology and gyroresonance microwave devices. However, the E_{1in} modes resonance coincides with the H_{0in} one. The article shows for detuning E_{1in} modes should be used ring slots at the end walls of the resonator.

Keywords: cylindrical resonators at H_{0in} modes, cyclotron resonance, gyrotron.

Doklady BGUIR. 2017, Vol. 107, No. 5, pp. 85-88

Selecting of H_{0in} and E_{1in} modes in cylindrical resonator with circular cross section

A.A. Kurayev, V.V. Matveyenko

Введение

Во многих областях техники и электроники СВЧ используются цилиндрические резонаторы с рабочим типом (модой) колебаний H_{0in} . Так, в измерительной технике используются такого типа резонаторы на моде H_{01n} с перестройкой частоты за счет перемещения бесконтактного торцевого поршня (торцевой крышки резонатора). В электронике СВЧ цилиндрические резонаторы на модах H_{01n} нашли успешное применение при создании мощных генераторов на циклотронном резонансе миллиметрового диапазона – гиротронов [1]. Однако при использовании моды H_{01n} в таких резонаторах возникает проблема: в связи с вырождением волн E_{11} и H_{01} в круглом волноводе [2] резонансные частоты колебаний резонатора H_{0in} и E_{1in} совпадают. Ниже показано, что отстроится от мешающей моды E_{1in} можно за счет введения в резонатор кольцевых щелей у торцевых стенок резонатора (односторонний – в случае перестраиваемого резонатора).

Расчет полей и резонансных длин волн цилиндрических резонаторов на модах E_{1in} и H_{0in} при различных геометрических размерах торцевых щелей

Расчет проводился в среде CST studio при различных соотношениях $z_0 = \Delta z / \lambda_0$ и $y_0 = \Delta y / \lambda_0$, где Δz – размерная ширина щели, Δy – размерная глубина щели, λ_0 – резонансная длина волны резонатора без щелей на модах E_{1in} и H_{0in} . Как указывалось выше, эта длина волны одинакова

для обоих мод: $\lambda_0 = \frac{2a}{\sqrt{\left(\frac{\mu_{0i}}{\pi}\right)^2 + \left(n\frac{a}{d}\right)^2}}$. Здесь a – радиус трубки резонатора, d – расстояние

между торцевыми стенками, $\mu_{0i} \equiv \nu_{1i}$ – корни уравнений $J_0'(x) \equiv -J_1(x)=0$, где $J_0(x)$, $J_1(x)$ – соответственно функции Бесселя 1-го рода нулевого и первого порядков, $J_0'(x)$ – производная по $J_0(x)$ – по аргументу. Соответственно резонансная частота резонатора без щелей равна

$$f_0 = \frac{1}{2\sqrt{\varepsilon_a \mu_a}} \sqrt{\left(\frac{\mu_{0i}}{\pi a}\right)^2 + \left(\frac{n}{d}\right)^2}.$$

Вариант 1. $a = 3,2\lambda_0$, $d = 4\lambda_0$, $\lambda_0 = 10$ см. В табл. 1 представлены зависимости относительных резонансных длин волн: $\lambda_{H_{01n}}^R = \lambda_{H_{01n}} / \lambda_0$, $\lambda_{E_{11n}}^R = \lambda_{E_{11n}} / \lambda_0$ и отношение $\lambda_{H_{01n}}^R / \lambda_{E_{11n}}^R$ от z_0 и y_0 при $n = 3$. Очевидно заметное и достаточное для практических приложений разнесение длин волн колебаний мод E_{113} и H_{013} (до 8 %). При этом следует отметить, что $\lambda_{H_{01n}}^R$ при всех приведенных z_0 и y_0 не изменяется в пределах погрешности расчетов.

Таблица 1. Зависимости относительных резонансных длин волн от z_0, y_0 для варианта 1:

$$a - \lambda_{H_{013}}^R, \quad б - \lambda_{E_{113}}^R, \quad в - \frac{\lambda_{H_{013}}^R}{\lambda_{E_{113}}^R}$$

y_0	z_0	
	0,04	0,1
0,05	2,3769	2,3767
0,15	2,3768	2,3766
0,25	2,3766	2,3758
0,35	2,3756	2,3761
0,45	2,376	2,376
0,55	2,3752	2,3757
0,65	2,3754	2,3756
0,75	2,3747	2,3755

a

y_0	z_0	
	0,04	0,1
0,05	2,3779	2,3803
0,15	2,3816	2,3897
0,25	2,3872	2,403
0,35	2,397	2,4241
0,45	2,4149	2,4603
0,55	2,4884	2,5113
0,65	2,6507	
0,75	3,249	

$б$

y_0	z_0	
	0,04	0,1
0,05	0,9995	0,9985
0,15	0,998	0,9945
0,25	0,9955	0,9887
0,35	0,991	0,9802
0,45	0,9839	0,9657
0,55	0,9545	0,946
0,65	0,8961	
0,75	0,7309	

$в$

Физическую сущность полученных результатов поясняет рис. 1.

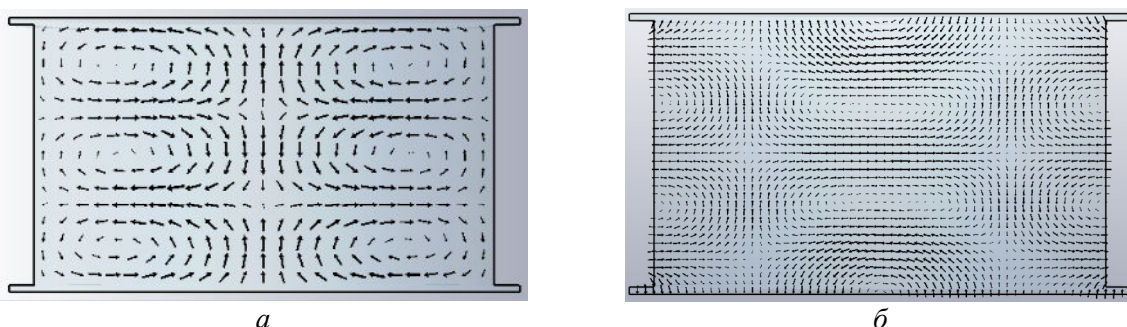


Рис. 1. Распределение магнитной напряженности поля колебания H_{013} (а) и электрической напряженности поля для E_{113} (б)

Из сравнения этих распределений видно, что для колебания H_{013} поле $\vec{H}$ нормально к щели и не проникает в нее; для колебания же E_{113} H_y параллельно щели и значительно проникает в нее, увеличивая общий объем, занимаемый полем. А это, как следует из общей теории резонаторов [2], уменьшает частоту колебаний.

Вариант 2. $a = 0,99\lambda_0$, $d = 1,9\lambda_0$, $\lambda_0 = 21$ см. Данные этого варианта представлены в табл. 2 и 3 на рис. 2, а и б соответственно.

Таблица 2. Зависимости относительных резонансных длин волн от z_0, y_0 для варианта 2: $\lambda_{H_{013}}^R$

y_0	z_0			
	0,05	0,1	0,14	0,19
0,02	0,9985	0,9984	0,9986	0,999
0,07	0,9984	0,9984	0,9987	0,9993
0,12	0,9985	0,9985	0,9985	0,9984
0,17	0,9984	0,9989	0,9986	0,9992

Таблица 3. Зависимости относительных резонансных длин волн от z_0, y_0 для варианта 2: $\lambda_{E_{113}}^R$

y_0	z_0			
	0,05	0,1	0,14	0,19
0,02	1,001	1,0049	1,0049	1,0053
0,07	1,0075	1,0192	1,0219	1,0243
0,12	1,011	1,0302	1,0302	1,0966
0,17	1,042	1,0433	1,0815	1,0827

Таблица 4. Зависимости относительных резонансных длин волн от z_0, y_0 для варианта 2: $\frac{\lambda_{H_{013}}}{\lambda_{E_{113}}}$

y_0	z_0			
	0,05	0,1	0,14	0,19
0,02	0,9975	0,9936	0,9938	0,9937
0,07	0,991	0,9796	0,9772	0,9756
0,12	0,9877	0,9693	0,9692	0,9105
0,17	0,9582	0,9575	0,9234	0,9229

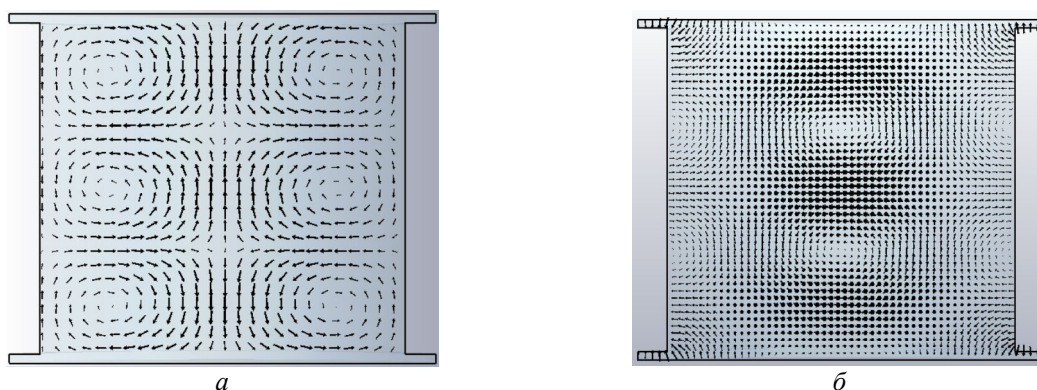


Рис. 2. Распределение магнитной напряженности поля колебания H_{013} (а) и электрической напряженности поля для E_{113} (б)

Как видно из табл. 2 и рис. 2, в варианте 2 кольцевые щели со значительно меньшим, чем у варианта 1, диаметром имеют тот же эффект, что и в варианте 1. В предыдущих вариантах для селекции E_{113} и H_{013} мод использовалась плоская щель. Применение объемной щели усиливает эффект селекции. Для иллюстрации этого рассчитан вариант резонатора с объемной щелью треугольного сечения (рис. 3).

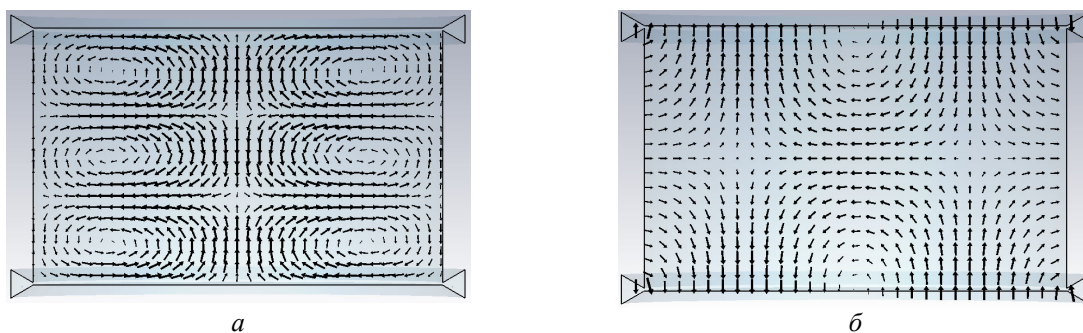


Рис. 3. Распределение магнитной напряженности поля колебания H_{013} (а) и электрической напряженности поля для E_{113} (б)

Для этого варианта при $\alpha=30^\circ$ (α – угол отклонения сечения от горизонтали), а $y_0=0,35$, $z_0=0,04$, как в табл. 1 $\frac{\lambda_{H_{013}}}{\lambda_{E_{113}}}=0,515$, что существенно выше по эффекту селекции для случая плоской щели.

Заключение

Показано, что кольцевые щели в цилиндрических резонаторах с круговым сечением обеспечивают необходимую для практических целей селекцию мод E_{1in} и H_{0in} . На основании этих результатов можно утверждать, что кольцевые щели в круглых волноводах снимут вырождение волн E_{1i} и H_{0i} и их фазовые скорости будут различаться. А это приведет к реализации идеи академика П.Л. Капицы о передаче энергии с использованием H_{0i} в круглых сверхразмерных волноводах практически без потерь. Препятствием этой идеи было именно вырождение волн E_{1i} и H_{0i} , приводящее к кумулятивной трансформации моды H_{0i} в E_{1i} из-за эллиптической погрешности сечения волновода. А мода E_{11} сильно поглощается в стенках сверхразмерного волновода.

Список литературы

1. Кураев, А.А. Мощные приборы СВЧ. Методы анализа и оптимизации параметров. М.: Радио и связь, 1986. 208 с.
2. Кураев А.А., Попкова Т.Л., Синицын А.К. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: ИНФРА-М, 2016. 424 с.

References

1. Kuraev, A.A. Moshhnye pribory SVCh. Metody analiza i optimizacii parametrov. M.: Radio i svjaz', 1986. 208 s. (in Russ.)
2. Kuraev A.A., Popkova T.L., Sinicyn A.K. Jelektrocinamika i rasprostranenie radiovoln. M.: INFRA-M, 2016. 424 s. (in Russ.)

Сведения об авторах

Кураев А.А., д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Матвеенко В.В., к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры вычислительных методов и программирования Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Kurayev A.A., D.Sci., professor, professor of information radiotechnologies department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Matveenko V.V., PhD., associate professor, associate professor of computational methods and programming department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, д. 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. +375-25-952-69-91
e-mail: vladimir66@bsuir.by
Матвеенко Владимир Владимирович

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka st., 6,
Belarusian state university of
informatics and radioelectronics
tel. +375-25-952-69-91
e-mail: vladimir66@bsuir.by
Matveyenko Vladimir Vladimirovich