

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНСНЫЙ ДИСК В КРУГЛОМ И ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЛНОВОДНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЯХ

Одним из способов обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств является включение в их тракты фильтрующих устройств. Однако применение фильтров на основе стандартных волноводов в линиях СВЧ неизбежно ведет к увеличению массогабаритных параметров всего устройства в целом. Поэтому обнаружение резонансных эффектов в диэлектрических неоднородностях малых размеров по сравнению с длиной электромагнитной волны имело не только гносеологическое значение, но и создало определенные предпосылки к существенной миниатюризации устройств СВЧ на основе диэлектрических резонансных рассеивателей (ДРР).

Например, геометрические размеры закрытого диэлектрического резонатора в $\sqrt{\epsilon}$ раз меньше, чем размеры металлического объемного резонатора, настроенного на ту же самую частоту. Таким образом, выигрыш по объему при использовании ДРР составляет $\epsilon\sqrt{\epsilon}$ раз [1].

Малые размеры ДРР позволяют совмещать их с излучателями, в том числе и с волноводными. Хотя к настоящему времени свойства ДРР, расположенных в полубесконечных прямоугольных волноводах, исследованы теоретически и экспериментально, однако при их размещении в раскрытых волноводных излучателях и, особенно круглых, изучены недостаточно полно.

Целью данной работы является экспериментальное исследование резонансного рассеяния электромагнитных волн на диэлектрических дисках, расположенных в круглых и прямоугольных волноводных излучателях.

Диски, изготовленные из диэлектрика ($\epsilon = 92$, $\text{tg}\delta = 0,001$), размещались в геометрическом центре открытого конца стандартного волновода 3 см диапазона длин волн на подложке из пенополистирола. Возбуждение круглого волновода осуществлялось с помощью плавного перехода от волны H_{10} в прямоугольном волноводе к волне H_{11} в круглом. Поскольку данные поля (H_{11} в круглом волноводе и H_{10} в прямоугольном) являются основными типами полей и обладают сходством структуры, априори предполагалось, что и резонансные характеристики рассеяния волн на дисках в соответствующих волноводах будут аналогичными.

Изучались частотные характеристики коэффициентов стоячих волн ($K_{\text{ст}} U$) в зависимости от размеров дисков и их ориентации в волноводах, а также проводилось сопоставление характеристик рассеяния для дисков, расположенных в полубесконечном и открытом волноводах.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 1-3 и в таблицах 1-2. На рисунках показана соответствующая ориентация диска диаметром 6,31 мм и толщиной 2,8 мм в волноводах.

Как следует из полученных результатов, рассеяние электромагнитных волн на диэлектрическом диске в круглом волноводе, как и в прямоугольном, носит резонансный характер. Возникающие при рассеянии резонансы являются парными – вблизи резонансов отражения всегда находятся резонансы прохождения. При этом положение резонансов прохождения относительно резонансов отражения бывает двояким – либо со стороны коротковолновой области диапазона длин волн, либо со стороны длинноволновой. Такая особенность расположения резонансов прохождения позволила классифицировать резонансы отражения, у которых резонансы прохождения находятся с коротковолновой стороны, как электрические, а резонансы отражения с резонансами прохождения с длинноволновой стороны как магнитные в соответствии с методикой, разработанной в [2].

На приведенных рисунках 1-3 кривые 1 соответствуют дискам, расположенным в круглом волноводе, а кривые 2 – в прямоугольном. Из сопоставления этих кривых следует, что в случае диска, плоскости которого совпадают с плоскостью поперечного сечения волноводов (рис. 1), наблюдаются незначительные (0,7...1 %) смещения резонансов магнитного типа в длинноволновую область диапазона для диска в круглом волноводе по сравнению с его расположением в прямоугольном волноводе.

Резонанс отражения электрического типа ($\lambda = 2,58$ см) практически не смещается.

При ориентации диска в плоскости поляризации волноводов (рис.2) происходит более значительное смещение резонансов обоих типов в длинноволновую область для диска в круглом волноводе (кривая 1) по сравнению с аналогичным расположением в прямоугольном волноводе (кривая 2). Для резонанса электрического типа это смещение составляет 0,8 %, для магнитного – 1,7 %.

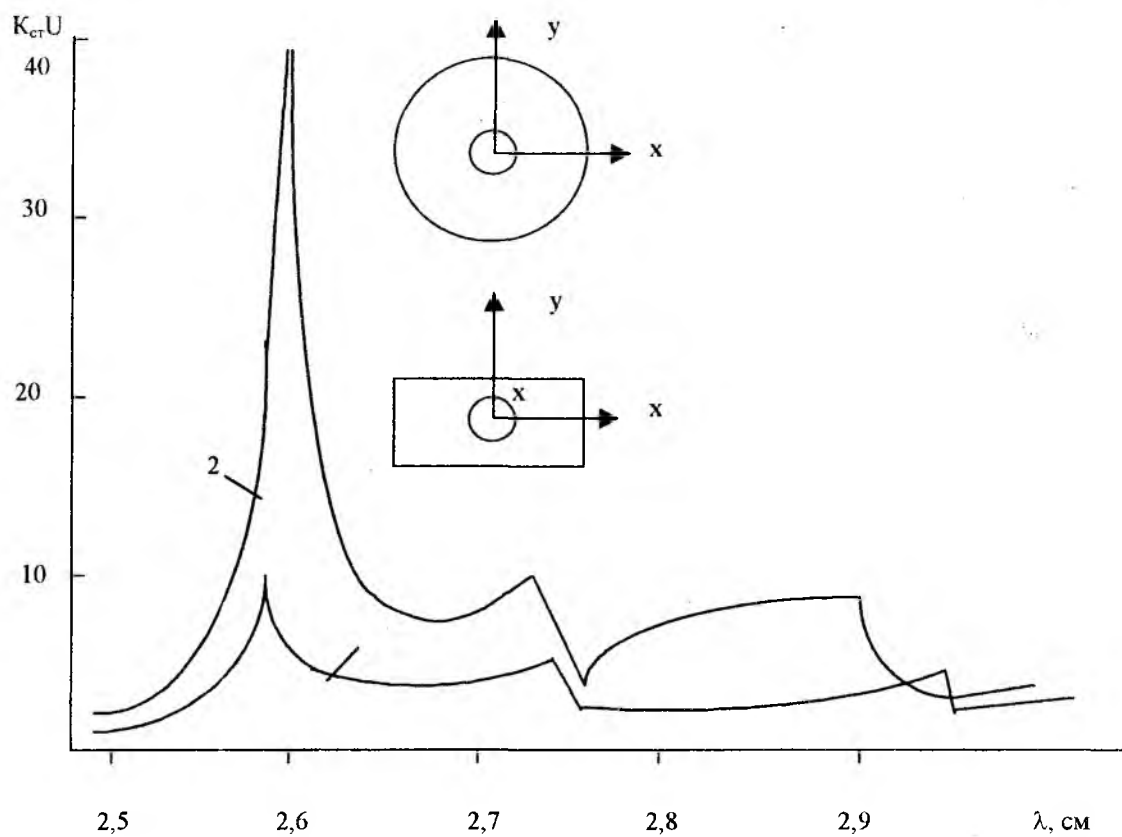


Рис. 1

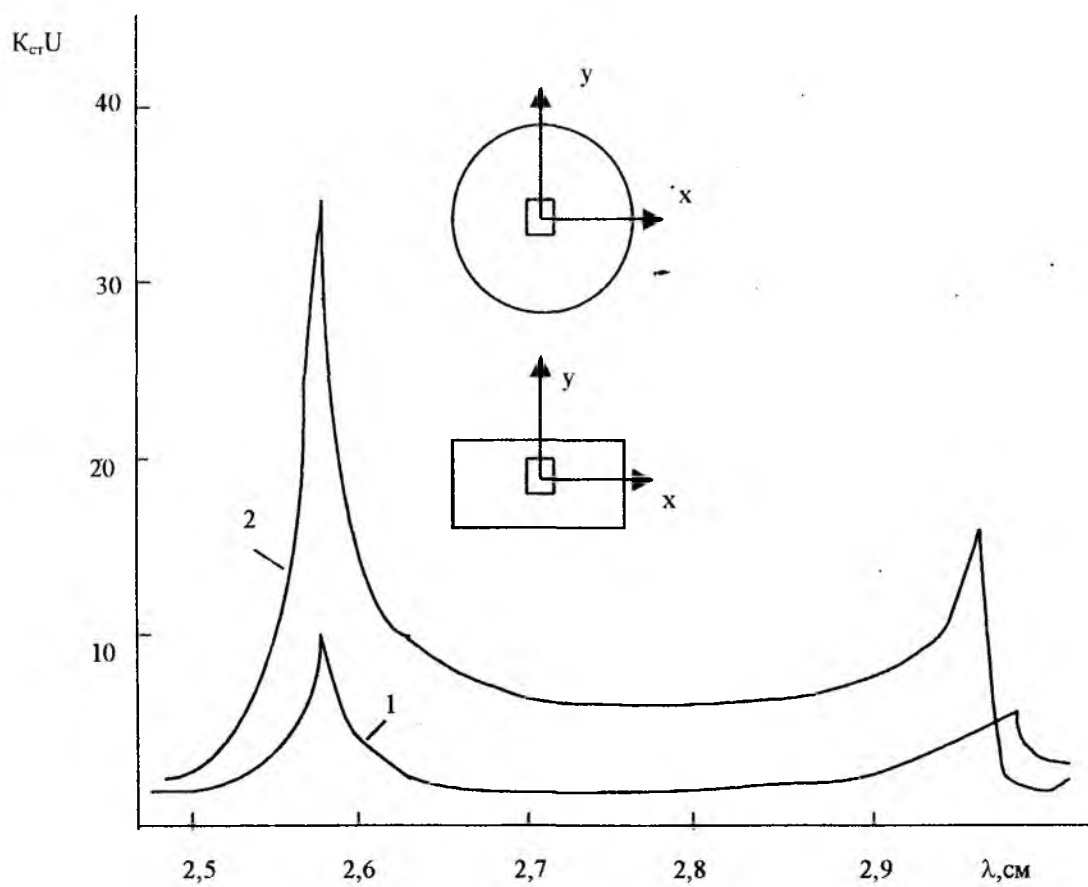


Рис. 2

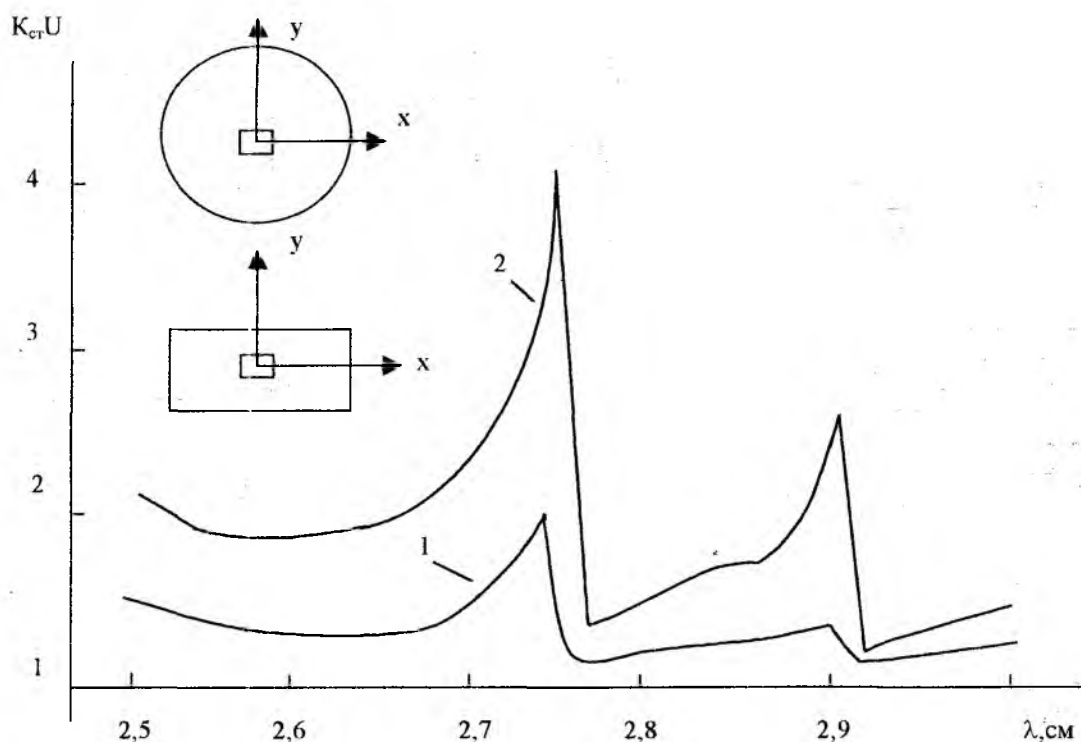


Рис. 3

Для такой ориентации диска в волноводах характерным является исчезновение резонанса магнитного типа на длине волны 2,72 см.

При ориентации диска в плоскости, перпендикулярной к плоскости поляризации волны (рис. 3) резонансы отражения и прохождения практически остаются неизменными и совпадают при расположении диска в круглом и прямоугольном волноводах.

Таким образом, для всех ориентаций дисков в волноводах наблюдаются либо незначительные изменения резонансных частот, либо частоты ДРР в круглом и прямоугольном волноводах остаются неизменными. Поэтому полученные ранее формулы для определения положения резонансов дисков в прямоугольных волноводах [3,4] могут быть использованы при расчете резонансных частот дисков, расположенных в круглых волноводах.

Такой характер рассеяния электромагнитных волн на ДРР в круглом и прямоугольном волноводах подтверждает правильность принятых априорных предположений. Сходство структур основных для данных волноводов волн H_{10} и H_{11} обуславливает совпадение качественных характеристик рассеяния и практическую неизменность резонансных частот ДРР.

Однако анализ кривых на рис. 1-3 показывает и существенные различия в резонансных значениях $K_{сr}U$ при расположении диска в круглом и прямоугольном волноводах. При этом $K_{сr}U$ на резонансных частотах дисков в прямоугольных волноводах всегда в несколько раз больше, чем при их аналогичных расположениях в круглом волноводе. Объясняется это, по-видимому, влиянием стенок волновода. При размещении ДРР в геометрическом центре поперечного сечения прямоугольного волновода он находится гораздо ближе к стенкам, чем при расположении в круглом волноводе. Аналогичные результаты были получены ранее при расположении ДРР в квадратных волноводах [5].

Было проведено сопоставление характеристик рассеяния для дисков, расположенных в полубесконечном волноводе сечением $10 \times 23 \text{ мм}^2$ и в открытом конце такого же волновода.

В таблицах 1,2 приведены измеренные резонансные длины волн и $K_{сr}U$ при резонансах для диска диаметром 6,31 мм, толщиной 2,8 мм, ориентированного так, что его плоскости были параллельны плоскости поперечного сечения волноводов. Диск располагался в геометрическом центре поперечного сечения волноводов.

Резонансы отражения												
D, мм	Полубесконечный волновод						Волноводный излучатель					
	f_1 , ГГц	$K_{от}U_1$	f_2 , ГГц	$K_{от}U_2$	f_3 , ГГц	$K_{от}U_3$	f_1 , ГГц	$K_{от}U_1$	f_2 , ГГц	$K_{от}U_2$	f_3 , ГГц	$K_{от}U_3$
4,44	12,24	6	9,63	4,2	7,98	7,8	12,23	5,8	9,65	5	7,99	8
5,67	11,71	16	11,37	7	10,89	4	11,68	15	11,40	6,8	10,89	2,8
6,31	11,65	38	11,02	8	10,39	6	11,64	40	11,05	10	10,38	7

Таблица 2

Резонансы прохождения												
D, мм	Полубесконечный волновод						Волноводный излучатель					
	f_1 , ГГц	$K_{от}U_1$	f_2 , ГГц	$K_{от}U_2$	f_3 , ГГц	$K_{от}U_3$	f_1 , ГГц	$K_{от}U_1$	f_2 , ГГц	$K_{от}U_2$	f_3 , ГГц	$K_{от}U_3$
4,44	12,49	1,1	9,77	1,4	-	-	12,50	1,5	9,74	2,1	-	-
5,67	12,0	1,23	11,24	1,73	10,78	1,78	12,17	1,18	11,25	1,56	10,81	1,36
6,31	12,05	1,21	10,9	2	10,25	1,7	11,97	1,58	10,91	2,1	10,26	1,95

Из приведенных результатов следует, что размещение диска в открытом конце волновода приводит к незначительным изменениям (не более 1,5 %) резонансных частот и резонансных значений $K_{от}U$ по сравнению с расположением диска в полубесконечном волноводе.

Таким образом, по результатам исследований можно сделать следующие выводы.

1. Рассеяние электромагнитных волн на диэлектрическом диске малых размеров, изготовленном из диэлектрика с большим значением ϵ и малым $\text{tg}\delta$ и расположенном в круглом волноводе, носит резонансный характер. Возникающие резонансы парные – отражения и прохождения.

2. Для диска в круглом волноводе, ориентированном в плоскости поперечного сечения или плоскости поляризации, наблюдаемые смещения резонансов не превышают 1,7 % по сравнению с рассеянием волн на диске в прямоугольном волноводе. При ориентации диска в плоскости, перпендикулярной к плоскости поляризации и плоскости поперечного сечения круглого волновода, резонансы практически совпадают по частоте с резонансами диска, расположенного в прямоугольном волноводе.

3. Резонансные значения коэффициентов стоячих волн для диска в круглом волноводе в несколько раз меньше аналогичных значений $K_{от}U$ для диска в прямоугольном волноводе.

4. Расположение диска в открытом конце волновода приводит к незначительным (не более 1,5 %) смещениям резонансов по сравнению с размещением диска в полубесконечном волноводе.

Список литературы: 1. Диэлектрические резонаторы / Ильченко М.Е., Взятыхшев В.Ф., Гассанов Л.Г. и др.; / под ред. М.Е. Ильченко. М.: Радио и связь, 1989. 328 с. 2. Козарь А.И., Хижняк Н.А. Отражение электромагнитных волн от резонансной диэлектрической сферы в волноводе // Укр. физ. журн. 1970. Т. 15, № 5. С. 847-849. 3. Украинцев Н.И., Хижняк Н.А. Резонансное рассеяние электромагнитных волн на диэлектрических дисках в прямоугольном волноводе // Радиотехника. 1976. Вып. 37. С. 79-87. 4. Украинцев Н.И., Хижняк Н.А. Диэлектрический резонансный цилиндр в прямоугольном волноводе // Вестн. Харьк. ун-та. 1978. № 163 : Радиофизика и электрон. С. 56-59. 5. Горобец Н.Н., Мокан Т.К., Украинцев Н.И. Диэлектрические резонансные диски в волноводах прямоугольной геометрии // Антенны. сб. статей. Вып. 37. М.: Радио и связь, 1990. С. 11-16.

Харьковский государственный технический
университет радиозлектроники

Поступила в редколлегию 14.05.99