

# ОБЪЕМНЫЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ

## ОСНОВНЫЕ ТИПЫ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПРОИЗВОДИТЕЛИ

### ЧАСТЬ 2

В.Геворкян, к.т.н.<sup>1</sup>, В.Кочемасов, к.т.н.<sup>2</sup>

УДК 621.389  
БАК 05.27.00

В первой части статьи, опубликованной в предыдущем номере журнала, была приведена классификация объемных резонаторов (ОР) и подробно рассматривались два вида изделий: коаксиальные резонаторы (КР) и открытые диэлектрические резонаторы (ДР). Сегодня продолжаем рассказ об ОР.

#### ВОЛНОВОДНО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ

Волноводно-диэлектрические резонаторы (ВДР) в простом варианте представляют собой объемную, ограниченную проводящими стенками, резонансную полость, заполненную диэлектрическим материалом. В настоящее время название ВДР распространяется на резонансные структуры, образованные полым волноводом, в котором установлены диэлектрические вставки, формирующие резонансное звено (РЗ) фильтра.

Отличие такого РЗ от ДР заключается в комбинации граничных условий на стенках диэлектрического тела. Часть стенок покрыта проводящим материалом, то есть образует "электрические" стенки, а часть – "магнитные" стенки. В предельном варианте по мере увеличения относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon_r$  (и, соответственно, уменьшения размеров диэлектрических включений пропорционально  $1/\sqrt{\epsilon_r}$ ), такие системы приближенно можно рассматривать как волноводные линии, связанные с ДР.

Пик интереса к созданию и применению фильтров на ВДР пришелся на 80-е годы прошлого столетия.

Однако по своим электрическим характеристикам ВДР не лучше ДР, а после разработки в начале нашего столетия ряда технических решений отвода тепловой энергии от ДР волноводно-диэлектрические резонаторы утратили последнее преимущество. Сказанное относится к частотному диапазону примерно до 50 ГГц, выше которого в связи с технологической необходимостью применения для создания РЗ диэлектриков с малым  $\epsilon_r$  ВДР продолжают использоваться.

Проектирование селективных устройств с резонансными звеньями на основе ВДР сводится к разработке устройств в целом, то есть к созданию конкретных (уникальных) РЗ, формируемых непосредственно в отрезке линии передачи. Как правило, в полосно-пропускающих фильтрах ВДР формируют в отрезках регулярных линий (в отличие от селективных устройств на ДР, которые в большинстве случаев создают на основе отрезков запердельных линий передачи).

#### ПРОИЗВОДИТЕЛИ ОР

Ограничим описание краткой характеристикой ряда производителей и номенклатуры предлагаемых ими изделий, касающихся собственно ОР. Последняя оговорка связана с тем, что в отличие от вышеназванных фирм-производителей ОР, указанные в данном разделе фирмы зачастую специализируются на поставках широ-

1 Профессор кафедры электрофизики информационных систем НИУ МЭИ, gvm@emc.mpei.ac.ru.

2 Генеральный директор ООО "Радиокомп", vkochemasov@radiocomp.ru.

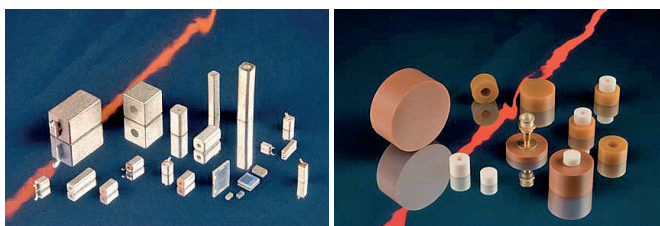


Рис.21. КР (а) и ДР (б) фирмы Temex-Ceramics

кой номенклатуры изделий и устройств, среди которых предложения ОР занимают незначительную часть.

Фирма Temex Ceramics [14] производит КР размерами от 2 до 12 мм (рис.21а, табл.9) для частот от 300 МГц до 6 ГГц. ДР этой фирмы (рис.21б) рассчитаны на частоты от 800 МГц до 50 ГГц и изготавливаются из шести типов материалов с диэлектрическими постоянными от 24 до 78.

КР фирмы рекламируются как изделия с высокими добротностями, которые по уровню электрических характеристик соответствуют лучшим образцам, представленным на мировом рынке (рис.22, см. табл.9) [14]. Аналогично характеризуется качество предложений фирмы по ДР.

Еще один поставщик – южнокорейская фирма RF MORECOM [15] – предлагает ДР для работы на колебаниях ТЕ-вида и КР стандартных типоразмеров. Их внешний вид, как и описываемых ниже резонаторов других компаний, аналогичен соответствующим изделиям других производителей, приведенным ранее в статье. По утверждению RF MORECOM, ее продукция характеризуется высоким уровнем надежности, добротности, термостабильности и возможностью настройки частоты.

Фирма UBE [16] позиционирует себя одним из основных поставщиков диэлектрических и керамических резонаторов разных размеров, относительной диэлектрической проницаемости и рабочих частот. Компания рекламирует свою продукцию как обладающую исключительными значениями  $Q \cdot f_p$ , температурной стабильности и др.

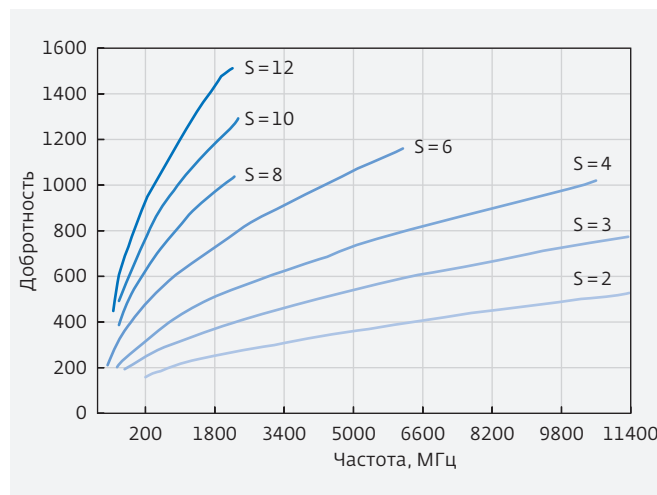


Рис.22. Частотная зависимость добротности КР Temex Ceramics. S – внешний размер поперечного сечения КР, мм

Компания Morgan Electro Ceramics [17] специализируется на производстве широкой номенклатуры керамических материалов и тел, в том числе для применения в качестве ДР в СВЧ-диапазоне. Реклама фирмы сводится к описанию электрофизических свойств различных соединений. Они перекрывают диапазон значений относительных диэлектрических проницаемостей  $\epsilon_r$  от 6,5 до 88, обладают набором  $TK\epsilon_r$  в пределах от 0 до  $\pm 1,2 \cdot 10^{-5} 1/^\circ C$  в рабочем диапазоне от  $-30$  до  $85^\circ C$ , что отвечает требованиям конструирования термостабильных РЗ. Значения тангенса угла диэлектрических потерь соответствуют лучшим аналогам.

Guangdong GOVA Advanced Material Technology (Китай) [18] позиционирует себя ведущим производителем керамики в Китае. Компания предлагает стандартный спектр дисковых ДР: ДР низшего ТЕ-вида колебаний из керамики с относительной диэлектрической проницаемостью 40–80, с добротностью, соответствующей мировому уровню, и с необходи-

## ФИЛЬТРЫ

www.radiocomp.ru



ИСО 9001-2008  
**РАДИОКОМП**



Фильтры с фиксированной и перестраиваемой полосой пропускания: дискретные, микрополосковые, трубчатые, гребенчатые, на керамических и объемных резонаторах, кварцевые, волноводные, на ПАВ и ЖИГ, тонкопленочные, блоки переключаемых фильтров, дуплексеры и мультиплексеры для полосы DC ... 110 ГГц

мым спектром значений  $T\epsilon_r$ ; ДР с ТМ-колебаниями из тех же материалов.

Компания Trans-Tech [19] предлагает керамические материалы собственного производства, обеспечивающие, по информации фирмы, лучшие соотношения размеров ДР,  $Q \cdot f_p$ -фактора, термостабильности относительной диэлектрической проницаемости и цены. Производитель предлагает широкий спектр изделий СВЧ-техники на основе своих керамических комплектов.

Integrated Microwave Corporation [20] – компания-производитель фильтров различного назначения, известная на рынке с 1982 года. КР и ДР выпускаются на заводе в г. Сан-Диего (США). На внешний рынок поставляет КР ограниченного спектра типоразмеров.

Фирма Tusonix [21] входит в состав компании CTS Corporation – одного из мировых лидеров в области производства электромагнитных фильтров, фильтров радиопомех, конденсаторов и др. Продукция соответствует стандартам военного применения. Фирма выпускает керамические резонаторы четырех размеров из четырех материалов с разной относительной диэлектрической проницаемостью для работы в диапазоне частот от 800 МГц до 5,9 ГГц. Сообщается, что резонаторы изготовлены из качественной металлизированной керамики. Области применения изделий: генераторы, управляемые напряжением, полосовые фильтры, беспроводные устройства и дуплексы.

Таблица 10. Характеристики КР фирмы T-Ceram

Материал	E-37	E-20	E-11
Частотный диапазон, ГГц	0,4-6	1-6	1,5-6,5
Разброс частот ( $\pm$ ), %	0,2-1	0,2-1	0,2-1
Внешний размер, мм	4-18	4-10	4-6
Длина, мм	4-30	4-16	4-10

Таблица 9. Параметры КР Temex Ceramics

Модель	Длина, мм ( $\pm 0,2$ мм)	Внутренний диаметр, мм ( $\pm 0,1$ мм)	Волновое сопротивление, Ом		
			$\epsilon_r = 21$	$\epsilon_r = 38,5$	$\epsilon_r = 90$
CRS02	2	0,65	15,7	11,6	7,6
CRS22		0,80	13,0	9,6	6,3
CRS03	3	0,95	15,6	11,9	7,6
CRS14	4	1,20	16,8	12,4	8,1
CRS04		1,50	13,8	10,2	6,7
CRS24		2,00	10,1	7,4	4,9
CRS06	6	2,00	15,4	11,4	7,4
CRS16		2,20	14,1	10,4	6,8
CRS26		2,40	13,0	9,6	6,3
CRS36		2,50	12,5	9,2	6,0
CRS08	8	2,80	14,7	10,9	7,1
CRS10	10	3,50	14,7	10,9	7,1
CRS12	12	3,50	17,1	12,6	8,3
CRS412		4,00	15,4	11,4	7,4

Чешская фирма T-CERAM [22] производит КР и ДР (табл.10–11). КР выполняются в стандартном виде для диапазона частот от 400 до 6000 МГц с различными выводами центральной жилы коаксиального резона-

Таблица 11. Характеристики дисковых ДР фирмы T-Ceram

Материал	E-37	E-20
Диапазон частот, ГГц	0,9-18	1,8-24
Разброс частот ( $\pm$ ), %	0,2-1	0,2-1
Добротность	> 4800	> 5200
ТКЧ, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	-6, -3, 0, 3, 6, 9 ( $\pm 2$ или $\pm 1$ )	-6, -3, 0, 3, 6, 9 ( $\pm 2$ или $\pm 1$ )
Диаметр, мм	3-62 (до 120)	3-62 (до 120)
Высота, мм	1-35	1-35

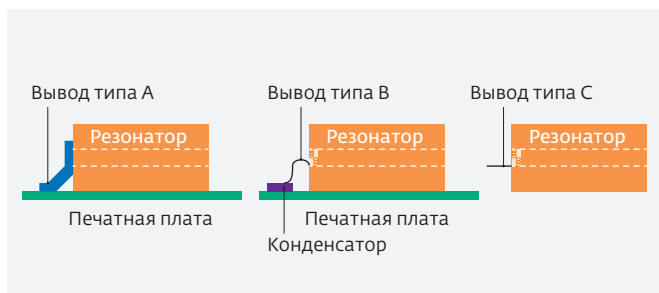


Рис.23. Конструктивные особенности керамических резонаторов фирмы T-Ceram

тора (рис.23). Параметры КР соответствуют мировому уровню данных изделий. Компания предлагает также селективные СВЧ-устройства на основе этих КР.

Компания NGK [23] – производитель керамических тел различной формы из материалов с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 10-93$ . Предлагаются тела, формирующие ДР и КР с высоким, соответствующим современному уровню, значением добротности и достаточным для управления ТКЧ спектром значений ТК относительно диэлектрической проницаемости.

Фирма Token [24] предлагает спектр типоразмеров КР из керамики со значениями относительной диэлектрической проницаемости от 20 до 90 и высокой температурной стабильностью. Номенклатура типоразмеров образцов КР обеспечивает перекрытие значений собственной добротности от 150 до 700 и диапазона частот от 400 до 2400 МГц. КР предназначены для построения селективных устройств различных систем беспроводной связи. Заметим, что предложения фирмы соответствуют среднему уровню мировых производителей аналогичной продукции.

АО "НПП "Исток" им. Шокина" [25] производит функциональную керамику марок БЦНТ, ЦТО и БСТ ( $\epsilon_r = 30, 40, 80$ , соответственно) для создания СВЧ ДР в диапазоне частот от 2,6 до 32 ГГц. Параметры ДР

таковы: собственная добротность – от 2000 до 10000, ТКЧ – от  $-3 \cdot 10^{-6}$  до  $10 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ , точность задания ТКЧ – от  $\pm 2 \cdot 10^{-6}$  до  $\pm 0,5 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ . Компания предлагает также КР на основе такой керамики с собственной добротностью 400–600 в диапазоне частот 0,6–2,4 ГГц.

В заключение отметим, что приведенные в статье данные не претендуют на полноту и не дают представления о всем многообразии частных решений построения РЗ, которые зачастую являются уникальными. Читателей, заинтересованных в углубленном изучении данного раздела СВЧ-техники, адресуем к специальной литературе, знакомство с которой рекомендуем начать с монографии [26].

Тем не менее, перечень рассмотренных производителей ОР дает возможность ускорить выбор поставщика элементной базы. При разработке конструкций фильтров рекомендуется ориентироваться на специализированного поставщика ОР, давно представленного в данном сегменте рынка и предлагающего продукцию с достаточным спектром параметров.

## ЛИТЕРАТУРА

14. Сайт компании Temex Ceramics: [www.temex-ceramics.com](http://www.temex-ceramics.com)
15. Сайт компании RF MORECOM: [rfmorecom.com](http://rfmorecom.com)
16. Сайт компании UBE: [www.uel.co.jp](http://www.uel.co.jp)
17. Сайт компании Morgan Electro Ceramics: [www.morgantechnicalceramics.com](http://www.morgantechnicalceramics.com)
18. Сайт компании Guangdong GOVA Advanced Material Technology: [www.gova-tech.com](http://www.gova-tech.com)
19. Сайт компании Trans-Tech: [www.trans-techinc.com](http://www.trans-techinc.com)
20. Сайт компании Integrated Microwave Corporation: [www.imcsd.com](http://www.imcsd.com)
21. Сайт компании Tusonix: [www.tusonix.com](http://www.tusonix.com)
22. Сайт компании T-CERAM: [t-ceram.com/index.htm](http://t-ceram.com/index.htm)
23. Сайт компании NGK: [www.ngk.de](http://www.ngk.de)
24. Сайт компании Token: [www.token.com.tw](http://www.token.com.tw)
25. Сайт АО "НПП "Исток" им. Шокина": [www.istokmw.ru](http://www.istokmw.ru)
26. Диэлектрические резонаторы / Колл. авторов; под ред. проф. М.Е. Ильченко – М.: Радио и связь, 1989. 328 с.

## ООО «Изовак»



Вакуумное технологическое оборудование для микроэлектроники

Разработка технологии, проектирование и производство вакуумного оборудования "под ключ"



Более 200 успешно выполненных проектов по всему миру

Более 22 лет в бизнесе

Конструкторское бюро, R&D лаборатория, производственные мощности в РБ и на Тайване



ООО «Изовак», ул. М. Богдановича, 155-907, 220040, Минск, Беларусь, тел.: +375-17-2931842, факс: +375-17-2931845

[www.izovac.com](http://www.izovac.com)