

PACS number: 07.57. – c

УЗКОПОЛОСНЫЕ ФИЛЬТРЫ МИКРОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

А.В. Стрижаченко, А.А. Звягинцев, С.Н. Шульга, В.В. Чижов

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина,
Пл. Свободы 4, 61077, Харьков, Украина
E-mail: A.Strizhachenko@mail.ru

Описаны оригинальные узкополосные малогабаритные фильтры на основе высоко-добротного волноводно-диэлектрического резонатора с анизотропными матери-алами. Разработанные фильтры удовлетворяют противоречивым требованиям: обеспечивают узкую полосу частот ($0,05 \div 0,1$ % от центральной частоты f_0) в сочетании с низкими начальными потерями $\alpha_0 \leq 1$ дБ.

Ключевые слова: ВОЛНОВОДНО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РЕЗОНАТОР, ФИЛЬТР, АНИЗОТРОПНЫЙ ДИЭЛЕКТРИК.

(Получено 09.07.2010, в отредактированной форме – 18.09.2010)

1. ВВЕДЕНИЕ

Для решения задачи электромагнитной совместимости и уплотнения информационных каналов систем спутниковой связи и телевидения в микроволновом диапазоне используются узкополосные фильтры. Они должны обеспечивать сочетание узких полос пропускания и высоких заграждений с малыми потерями СВЧ сигнала, обладать стабильностью электрических характеристик в широком интервале температур. Основные применения узкополосные фильтры находят в СВЧ генераторах с малым уровнем шумов, преселекторах СВЧ приемников, измерительной аппаратуре.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Настоящая статья посвящена разработке узкополосных малогабаритных СВЧ- фильтров на основе высокодобротного волноводно-диэлектрического резонатора (ВДВДР). Фильтры представляют собой отрезок прямоугольного волновода с фланцами, который содержит один или несколько диэлектрических вкладышей, полностью заполняющих резонатор вдоль узкой стенки волновода и частично вдоль широкой (рис. 1 а, б). Такие фильтры [1] удовлетворяют противоречивым требованиям:

1. Обеспечивает узкую полосу частот ($0,05 \div 0,1$ % от центральной частоты f_0) в сочетании с низкими начальными потерями α_0 ($\alpha_0 \leq 1$ дБ). Это возможно, благодаря использованию резонаторов с собственной добротностью не менее $(15 \div 20) \cdot 10^3$ ед., которая достигается путем использования монокристаллических материалов с низкими диэлектрическими потерями.
2. Поворот резонатора на 90° относительно Н-плоскости волноводного тракта позволяет существенно повысить добротность по сравнению с

обычными волноводно-диэлектрическими резонаторами (ВДР) благодаря тому, что токи проводимости, протекавшие ранее в окружавшем диэлектрик металле, в значительной степени оказались замененными токами смещения, что позволило уменьшить среднюю мощность потерь в металлических стенках резонатора.

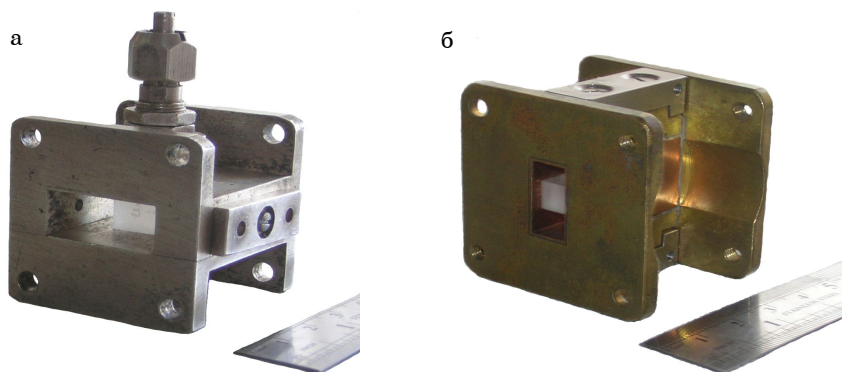


Рис. 1 – Узкополосные СВЧ фильтры: однозвенный (а), двухзвенный (б)

Изготовленные фильтры обладают следующими характеристиками:

центральная частота f_0 , МГц	9500 ÷ 10000
полоса пропускания (по уровню 1 дБ), МГц	8 ÷ 10
начальные потери α_0 , дБ	≤ 1
подавление в полосе заграждения:	
- для двухзвенного фильтра, дБ, не менее	20
- для трехзвенного фильтра, дБ, не менее	30
масса, г	≈ 150
используемый диэлектрик	лейкосапфир

Кроме того, в работе исследован вопрос технологичности при серийном изготовлении таких фильтров: влияния состояния поверхностей волновода и диэлектрического вкладыша, выбора материала конструкции, а также допусков при изготовлении и настройке.

Рассмотрим влияние материала на основные параметры высокодобротного резонатора. Сравнивались ВДВДР, выполненные на основе волноводных секций, изготовленных из латуни и меди. Волноводные секции имели одинаковую длину ($L = 50$ мм), в которые помещался один и тот же лейкосапфировый вкладыш. Таким образом, ВДВДР находились в одинаковых условиях. В таблице 1 приведены численные данные для двух резонансов в исследуемом частотном диапазоне. Из приведенных данных видно, что материал волноводной секции оказывает существенное влияние на характеристики резонатора. Наиболее подходящими материалами является медь и серебро. Либо изготавливать волноводные секции из других материалов, но с посеребренной внутренней поверхностью и фланцами.

Таблица 1 – Влияние материала секции на параметры ВДВДР

Параметр	латунная секция	медная секция
	$\sigma = 1.57 \cdot 10^7$ сим/м [2]	$\sigma = 5.97 \cdot 10^7$ сим/м [2]
a/λ	0.384	0.384
α_0 , дБ	1.84	1.45
Q_n	2560	2900
Q_0	13500	19300
a/λ	0.306	0.384
α_0 , дБ	5.3	5.0
Q_n	4300	5800
Q_0	9400	13300

Для исследования влияния материала диэлектрического вкладыша было изготовлено три вкладыша с одинаковыми геометрическими размерами и проведены измерения в одной и той же измерительной секции, изготовленной из меди. Вкладыши были изготовлены из фторопласта, кристаллического кварца и лейкосапфира, электрические параметры которых приведены [3]. В таблице 2 приведены результаты, которые показывают явную зависимость величины добротности от материала диэлектрического вкладыша. Следовательно, необходимо выбирать материал с минимальным значением тангенс угла диэлектрических потерь.

Таблица 2 – Влияние материала диэлектрического вкладыша на параметры ВДВДР

Параметр	вкладыш из фторопласта	вкладыш из кварца	вкладыш из лейкосапфира
a/λ	0.348	0.305	0.384
α_0 , дБ	11.1	5.2	1.32
Q_n	3.660	4.240	3050
Q_0	5090	9740	21600

Для изучения вопроса влияния состояния поверхности ВДВДР на его параметры измерения проводились для ВДВДР на основе волноводной секции, выполненной из стандартной волноводной трубы без предварительной обработки ее внутренней поверхности и сравнение с параметрами ВДВДР, измеренными после полировки внутренней поверхности волновода (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Влияние состояния металлической поверхности на параметры ВДВДР

Параметр	ВДВДР на основе неполированной секции	ВДВДР на основе полированной секции
a/λ	0.384	0.384
α_0 , дБ	6.6	6.6
Q_n	6680	6860
Q_0	12550	13023

Результаты, приведенные в таблице 3, позволяют сделать вывод о незначительном влиянии состояния внутренней поверхности волновода на величину собственной добротности ВДВДР. По той же причине отпадает необходимость полировки поверхности диэлектрического вкладыша, что повышает технологичность изготовления фильтров на основе ВДВДР.

Исследовался вопрос о влиянии допусков при изготовлении и сборке на параметры ВДВДР. Основная сборка фильтра заключена в правильной установке диэлектрического вкладыша в волноводной секции. Оптимальным положением вкладыша, с точки зрения получения наиболее высоких показателей фильтра, является симметричное расположение диэлектрического вкладыша по отношению к боковым стенкам волновода и фланцам. Сдвиг вкладыша (ΔL , мм) проводился относительно его симметричного положения вдоль длины резонатора L (относительно фланцев). Выставление вкладыша проводилось с помощью микрометра часового типа с точностью до 0.1 мм. Сдвиг производился на первом миллиметре через 0.2 мм, далее через 0.5 мм, сохраняя при этом симметричное положение образца по отношению к боковым стенкам секции. Контролировалась резонансная частота (рис. 2, кривая 1), ширина полосы пропускания на уровне 3 дБ (рис. 2, кривая 2), потери, вносимые ВДВДР на резонансной частоте (рис. 3, кривая 1). Кривая 2 на рис. 3 соответствует рассчитанной нагруженной добротности согласно соотношения [4]:

$$Q_n = \frac{f_0}{2\Delta f} \cdot (10^{\frac{\alpha - \alpha_0}{10}} - 1)^{1/2},$$

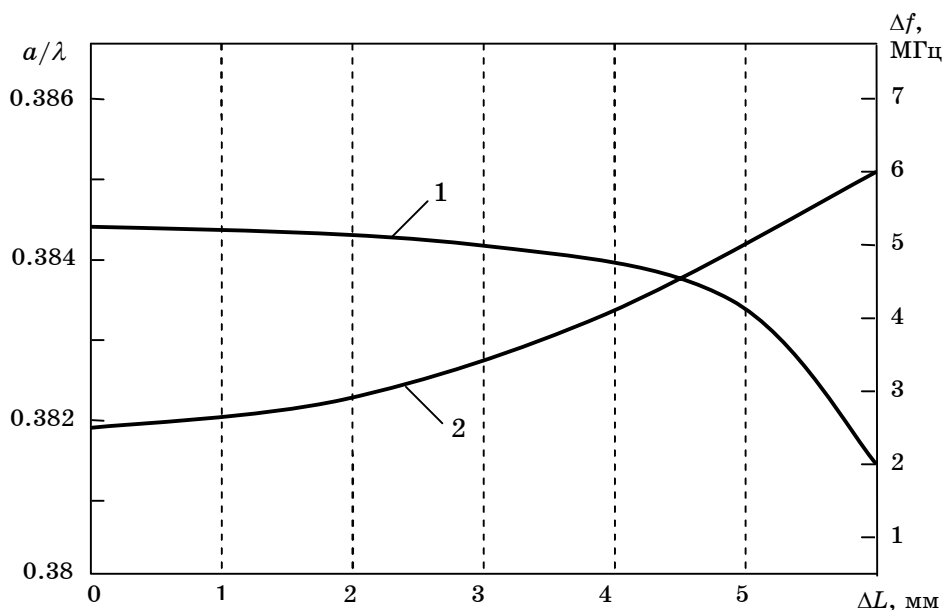


Рис. 2 – Зависимость относительной резонансной частоты a/λ и ширины полосы пропускания Δf от сдвига образца ΔL вдоль продольной оси секции относительно симметричного положения

где α_0 и α – затухание на резонансной частоте и при отстройке от резонансной частоты соответственно, выраженные в дБ. Из приведенных графиков видно, что сдвиг образца из симметричного положения вдоль продольной оси резонатора на расстояние до ± 1 мм заметных изменений параметров резонатора не вызывает. Дальнейший сдвиг диэлектрического вкладыша вызывает значительное расширение полосы частот: порядка 0.7 МГц на 1 мм сдвига и увеличение потерь α порядка 0,5 дБ на 1 мм сдвига. Значительный уход резонансной частоты возникает при сдвиге на 4 мм и более. Отсюда можно сделать вывод, что допуск на неточность установки образца может быть ± 1 мм.

Исследовался сдвиг вкладыша относительно симметричного положения вдоль широкой стенки резонатора (размера b). Измерение и контроль параметров проводился аналогично описанному в предыдущем случае. Выставление образца производилось с помощью калиброванной оправки, толщина которой изменялась по 0,2 мм на первом миллиметре сдвига и далее по 0,5 мм. Калибровка толщины проводилась с точностью $\pm 0,02$ мм. На графике (рис. 4) нанесены кривые изменения относительной резонансной длины волны (a/λ) (кривая 1) и ширины полосы пропускания на уровне 3 дБ (кривая 2) от величины сдвига вкладыша ΔL . На графике (рис. 5) нанесены кривые изменения потерь ВДВР на резонансной частоте (кривая 2), а также значения нагруженной и собственной добротностей резонатора (кривые 3 и 1 соответственно). Видно, что в случае сдвига лейкосапфирового образца из его оптимального положения к боковым стенкам волновода, сохраняя при этом симметрию по отношению к фланцам, изменение электрических параметров ВДВР

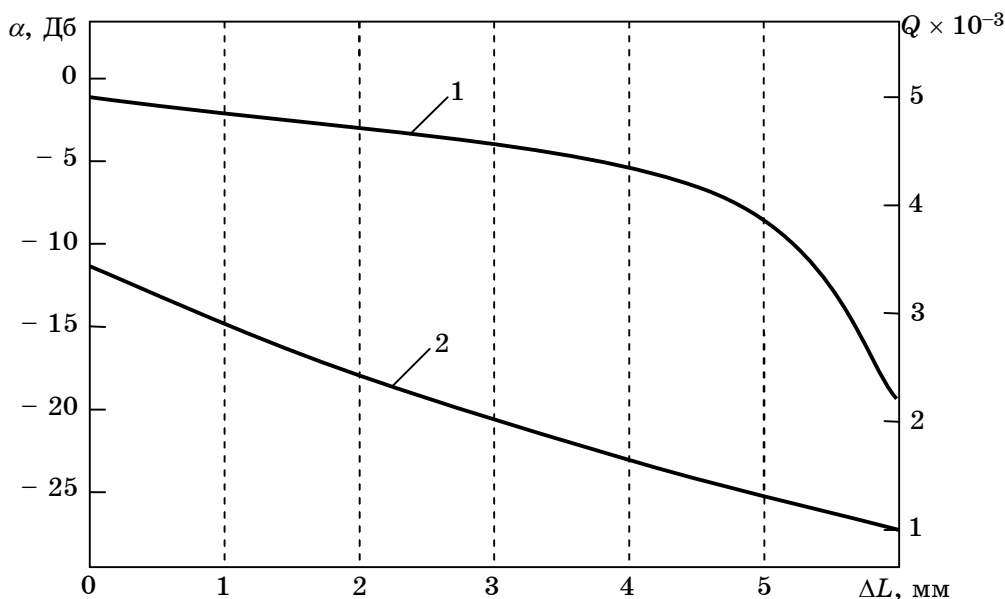


Рис. 3 – Зависимость изменения затухания α и добротности Q от сдвига образца ΔL вдоль продольной оси секции относительно симметричного положения

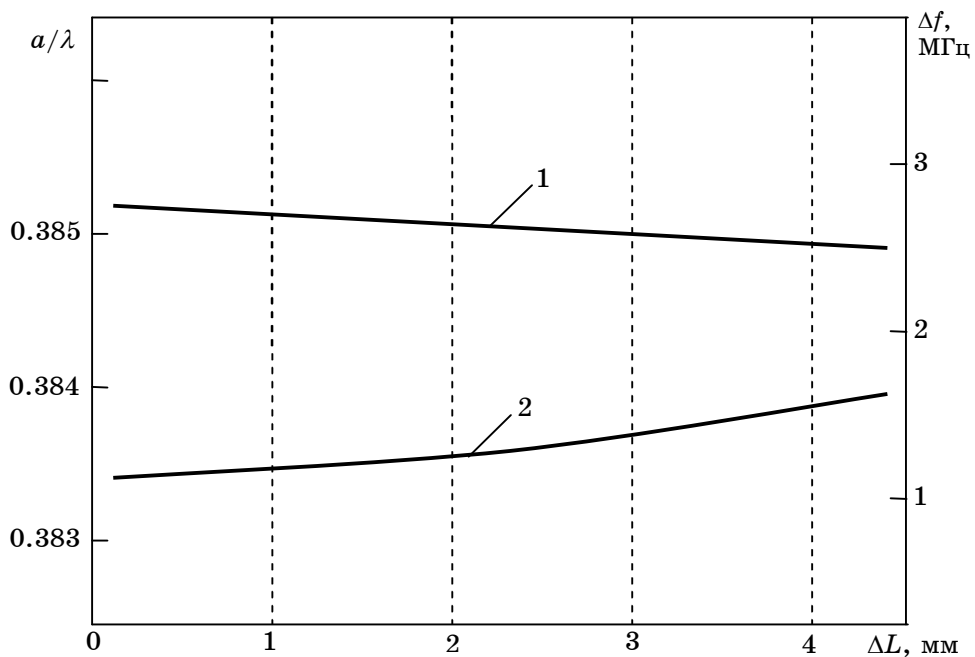


Рис. 4 – Зависимость относительной резонансной частоты a/λ и ширины полосы пропускания Δf от сдвига образца ΔL вдоль стенок волновода

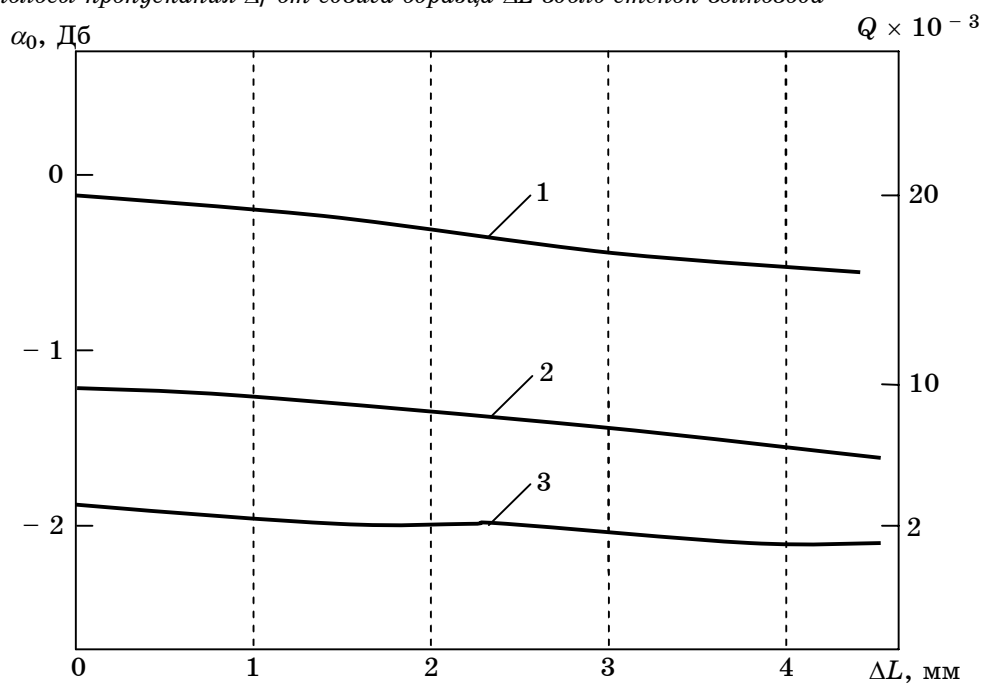


Рис. 5 – Зависимость α (кривая 2), Q_0 (1) и Q_n (3) от сдвига образца ΔL вдоль стенок волновода относительно симметричного положения

значительно меньше, чем в предыдущем случае. Изменения резонансной частоты, ширины полосы пропускания на уровне 3 дБ и нагруженной добротности несущественны до величины сдвига $\Delta L = 4,5$ мм от симметричного положения. Наибольшее увеличение потерь ВДВДР на резонансной частоте (приблизительно 0.35 дБ) при сдвиге на $\Delta L = 4,5$ мм, вызывает уменьшение собственной добротности резонатора на величину $Q_0 \approx 3000$ ед. Это говорит о слабом влиянии сдвига лейкосапфирового вкладыша по направлению к боковым стенкам волновода.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описаны оригинальные узкополосные малогабаритные фильтры на основе высокодобротного волноводно-диэлектрического резонатора с анизотропными материалами. Разработанные фильтры удовлетворяют противоречивым требованиям: обеспечивают узкую полосу частот ($0,05 \div 0,1$ % от центральной частоты f_0) в сочетании с низкими начальными потерями $\alpha_0 \leq 1$ дБ. Это возможно, благодаря использованию резонаторов с собственной добротностью не менее $(15 \div 20) \cdot 10^3$ ед., которая достигается путем использования монокристаллических материалов с низкими диэлектрическими потерями. Поворот резонатора на 90° относительно Н-плоскости волноводного тракта позволяет существенно повысить добротность по сравнению с обычными ВДР. Проведенные в работе исследования позволяют сделать вывод, что разработанные фильтры технологичны при серийном изготовлении.

NARROW-BAND MICROWAVE FILTERS

A.V. Strizhachenko, A.A. Zvyagintsev, S.N. Shul'ga, V.V. Chizhov

V.N. Karazin Kharkiv National University,
4, Svobody Sq., 61077, Kharkiv, Ukraine
E-mail: A.Strizhachenko@mail.ru.

Original design of the narrow-band compact filters based on the high-quality waveguide-dielectric resonator with anisotropic materials has been presented in this work. Designed filters satisfy the contradictory requirements: they provide the narrow frequency band ($0,05 \div 0,1$ % of the main frequency f_0) and the low initial losses $\alpha_0 \leq 1$ dB.

Keywords: WAVEGUIDE-DIELECTRIC RESONATOR, FILTER, ANISOTROPIC DIELECTRIC.

ВУЗЬКОСМУГОВІ ФІЛЬТРИ МИКРОХВИЛЬОВОГО ДІАПАЗОНА

А.В. Стрижаченко, А.А. Звягинцев, С.Н. Шутьга, В.В. Чижов

Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна
Пл. Свободи 4, 61077, Харків, Україна
E-mail: A.Strizhachenko@mail.ru

Описано оригінальні вузькосмугові малогабаритні фільтри на основі високо-добротного хвилеводно-діелектричного резонатора із анізотропними матеріалами. Розроблені фільтри задовольняють суперечним вимогам: забезпечують вузьку смугу частот ($0.05 \div 0.1$ % від центральної частоти f_0) в сполученні з низькими початковими втратами $\alpha_0 \leq 1$ дБ.

Ключові слова: ХВИЛЕВОДНО-ДИЕЛЕКТРИЧНИЙ РЕЗОНАТОР, ФІЛЬТР, АНІЗОТРОПНИЙ ДІЕЛЕКТРИК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. A. Zvyagintsev, A. Strizhachenko, V. Chizhov, V. Popov, *Proceedings of International Conference on Mathematical Method in Electromagnetic (ММЕТ-98)*, 54 (URSI: Kharkov: 1998).
2. А.Л. Фельдштейн, Л.Р. Явич, В.П. Смирнов, *Справочник по элементам волноводной техники* (М.:Сов.радио: 1967).
3. М.Н. Бергер, Б.Ю. Капилевич, *Прямоугольные волноводы с диэлектриками* (М.: Сов. радио 1973).
4. Ф. Типпер, *Техника измерений на сверхвысоких частотах. Справочное руководство* (Пер. с немецкого) (М.: Физматгиз: 1963).