

Научная статья

УДК 621.372.2

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2024-10-6-26-33>

# Синтез устройств СВЧ диапазона на основе микроволнового кольцевого эллиптического резонатора

✉ Александр Сергеевич Леонтьев, leontev.as@sut.ru

Эрнест Юрьевич Седышев, k112\_electron@sut.ru

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

## Аннотация

**Актуальность.** Исследования кольцевых резонирующих структур вызывает интерес у разработчиков СВЧ устройств, некоторые особенности кольцевых эллиптических резонаторов приводят к возникновению уникальных свойств передаточных характеристик. Особое значение при использовании данных резонаторов имеет способ их возбуждения. При определенных условиях в этих структурах возможно получение режима бегущей волны. Синтезу микроволновых устройств, а также исследованию способов возбуждения и оценки режима волнового процесса в структуре посвящена данная работа.

**Цель исследования** – проанализировать и систематизировать информацию о создании микроволновых устройств с использованием кольцевых эллиптических резонаторов (КЭР), а также апробировать результаты применения двоянного КЭР.

**Методы:** в этой работе был проведен аналитический обзор актуальных научных публикаций, а также выполнено компьютерное моделирование полосковых кольцевых эллиптических резонаторов, работающих в сверхвысокочастотном диапазоне. В работе также представлены результаты экспериментов, апробированные разными исследователями, в том числе поддержанные грантами РФФИ.

**Решение.** В статье рассматриваются особенности использования шлейфных полосковых фильтров и описываются ограничения, возникающие при использовании полосковых резонаторов. Представлена конструкция КЭР и предлагается его применение в качестве альтернативы полосковым резонаторам. Приводятся результаты многочисленных экспериментов по синтезу микроволновых устройств на основе КЭР, включая: одинарный; двойной резонаторы; преселективные фильтры; усилители и генераторы, построенные на основе кольца и активных двухполюсниках. Также рассматривается проблема коммутации резонатора с основной линией передачи. Приводятся результаты макетирования нескольких устройств, ограничивающих направление распространения электромагнитной волны в кольцевом резонаторе.

**Научная новизна.** Впервые представлена конструкция двойного эллиптического резонатора, выполненного на основе микрополосковой линии. В статье приводятся результаты эксперимента, которые демонстрируют достижение уровня режекции фильтра более 70 дБ исключительно за счет топологии резонатора. Обсуждается проблема выбора способа питания и обеспечения режима распространения волны в КЭР.

**Практическая значимость:** результаты, полученные в ходе работы, могут быть применены для создания резонатора бегущей волны на микрополосковой линии или в других планарных или объемных конфигурациях. Также результаты исследования служат основой для создания обобщенной теории синтеза кольцевых резонаторов микроволнового диапазона длин волн.

**Ключевые слова:** кольцевой эллиптический резонатор, резонанс, фильтр, добротность, бегущая волна, синтез, СВЧ

**Ссылка для цитирования:** Леонтьев А.С., Седышев Э.Ю. Синтез устройств СВЧ диапазона на основе микроволнового кольцевого эллиптического резонатора // Труды учебных заведений связи. 2024. Т. 10. № 6. С. 26–33. DOI:10.31854/1813-324X-2024-10-6-26-33. EDN:EAONVX

Original research

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2024-10-6-26-33>

# Synthesis of Microwave Devices Based on a Microwave Ring Elliptical Resonator

✉ Alexander S. Leontev, leontev.as@sut.ru

✉ Ernest Y. Sedyshev, k112\_electron@sut.ru

The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

## Annotation

**Actuality.** Research of ring resonating structures is interesting to developers of microwave devices; some features of ring elliptical resonators lead to the emergence of unique properties of the transmission characteristics of the device. Method of excitation for CER is particularly important. It is possible to obtain the traveling wave mode in these structures, under certain conditions. To the synthesis of microwave devices, as well as to the study of methods for exciting and evaluating the mode of the wave process in the structure this paper is devoted.

**Object.** The purpose of the study is to analyze and organize information about the development of microwave devices using circular elliptical resonators (CERs). Authors also want to test the results of using dual CERs.

**Methods.** The authors have conducted an analytical review of recent scientific publications and performed computer modeling of microstrip ring elliptical resonators that operate in the ultrahigh frequency range in this work. The paper also includes the results of our experiments, tested by various researchers, including those supported by grants from the Russian Foundation for Basic Research.

**Result.** The article explores the unique characteristics of loop strip filters and highlights the limitations of using strip resonators. It that describes the design of a ring elliptical resonator (CER), and suggests its potential as an alternative to microstrip resonators. The paper presents the results of numerous experiments on the development of microwave devices based on CERs. The results of numerous experiments of the synthesis of microwave devices based on CER and including: single; double resonators; preselective filters; amplifiers and generators based on a ring and active bipolar are presented. Additionally, the issue of connecting the resonator to the main transmission line is addressed. The results of modeling several devices that limit the direction of propagation of an electromagnetic wave in an annular resonator are presented.

**Scientific novelty.** This article introduces a new design of a double elliptical resonator based on a microstrip line. It also describes the results of an experiment that shows that the resonator topology can achieve a filter rejection level of over 70 dB. In the article, the authors also discuss the problem of selecting a power supply method and ensuring the wave propagation mode in the CER.

**Practical significance.** The results obtained in the course of this work can be used to create a traveling wave resonator on a microstrip line or in other planar or volumetric configurations. The results of the study also serve as the basis for the creation of a generalized theory of synthesis of ring resonators in the microwave wavelength range.

**Keywords:** circular elliptical resonator, resonance, filter, Q-factor, traveling wave, synthesis, microwave

**For citation:** Leontev A.S., Sedyshev E.Y. Synthesis of Microwave Devices Based on a Microwave Ring Elliptical Resonator. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2024;10(6):26–33. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2024-10-6-26-33. EDN:EAONVX

## Введение

Постоянное развитие устройств и технологий СВЧ диапазона требует повышения степени интеграции основных топологических решений, учитывающих распространение волны в диэлектриках.

Это неудивительно, так как с освоением более высоких частот все большее внимание уделяется конструктивным компонентам интегральных схем (ИС): соединительные линии, распределенные емкости, индуктивности, печатные фильтры, резонаторы и т. д.

Основная сложность в использовании подобных конструктивных элементов заключается в необходимости разработать их топологию и интегрировать в единый технологический цикл создания токонесущих слоев или напыления полупроводников и диэлектриков. На этом этапе также важно обеспечить возможность их настройки и корректировки.

В связи с этим разработка новых эффективных топологических решений приобретает особую значимость, поскольку традиционные подходы часто не могут удовлетворить противоречивым современным требованиям и не могут быть воспроизведены при переходе в более высокую часть СВЧ диапазона.

### Особенности шлейфных фильтров

Основным конструктивным элементом, используемым при создании микроволновых устройств, является линия. Отрезок этой линии, называемый шлейфом, также служит основой для многих СВЧ устройств. Шлейфы позволяют создавать направленные ответвители, фильтры различных типов, а также осуществлять коммутацию и развязку микроволновых трактов. Кроме того, шлейфы играют важную роль как основные резонансные элементы в ИС сверхвысокой частоты. Однако микрополосковый шлейф имеет низкую добротность, что существенно ограничивает его применение. Для достижения требуемых характеристик фильтров, например, необходимо создавать структуры более высокого порядка.

Сравним графики  $S$ -параметров двух фильтров с Чебышевской характеристикой третьего и пятого порядков (рисунок 1). Фильтры были рассчитаны и смоделированы в программе RFSimm с центральной рабочей частотой 3 ГГц и полосой пропускания 100 МГц. Как видно из рисунков, фильтр более высокого порядка демонстрирует более высокую крутизну. Это означает, что он обладает лучшей избирательной способностью. Таким образом, для достижения заданной крутизны фильтра разработчик должен либо увеличить добротность резонаторов, выбрав соответствующий тип линии и материалы, либо повысить порядок самого фильтра. Чтобы оценить, насколько избирателен резонатор по частоте, используют величину, называемую добротностью.

Добротность показывает, как сильно отличается центральная частота от полосы резонанса, а также – сколько энергии запасает фильтр и сколько теряет за один период колебания:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} \quad (1)$$

где

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad (2)$$

Характеристики рассчитанных фильтров приведены в таблице 1.

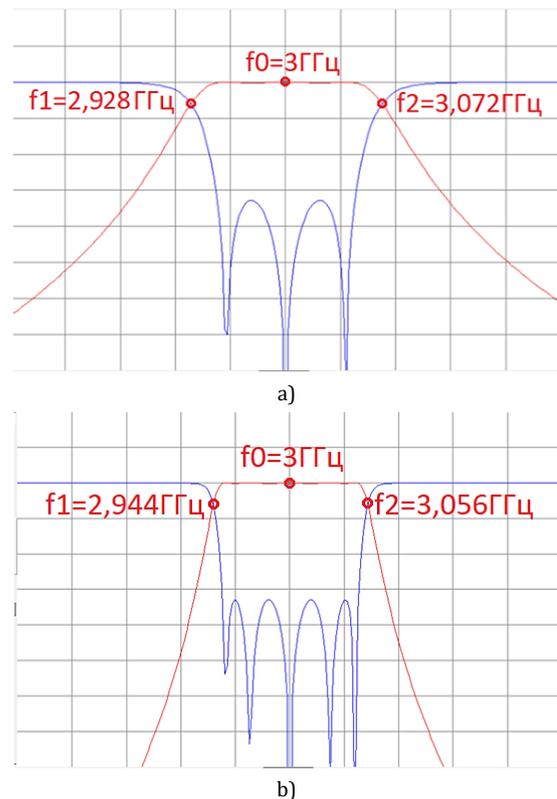


Рис. 1.  $S$ -параметры полоскового фильтров 3-го (а) и 5-го (б) порядков

Fig. 1.  $S$ -Parameters of 3rd (a) and 5th (b) Order Bandpass Filter

ТАБЛИЦА 1. Сравнение характеристик фильтров 3-го и 5-го порядков

TABLE 1. Characteristic Comparison of 3rd (a) and 5th (b) Order Bandpass Filter

Характеристики	Фильтры	
	3-го порядка	5-го порядка
Центральная частота	3 ГГц	
Частота нижнего среза	2,928 ГГц	2,944 ГГц
Частота верхнего среза	3,072 ГГц	3,056 ГГц
Полоса пропускания	144 МГц	112 МГц
Добротность	41,67	53,57

Таким образом, увеличение порядка фильтра можно рассматривать как повышение добротности резонаторов. В теории фильтрации обычно рассматриваются фильтры на линиях без потерь, и поэтому может возникнуть заблуждение, что увеличение порядка фильтра позволяет получить любую крутизну. Однако на самом деле крутизна фильтра в первую очередь определяется добротностью резонаторов.

Также следует учесть, что с ростом рабочей частоты размеры шлейфов значительно уменьшаются. Например, на частотах свыше 10 ГГц размеры четвертьволновых шлейфов становятся столь малы, что их использование для согласования становится крайне затруднительным.

### Кольцевой эллиптический резонатор

В качестве альтернативы можно рассмотреть возможность применения кольцевых эллиптических резонаторов (КЭР) для создания различных микроволновых устройств. КЭР представляет собой полосковую линию, изогнутую в кольцо и соединенную с основной линией передачи (рисунок 2).

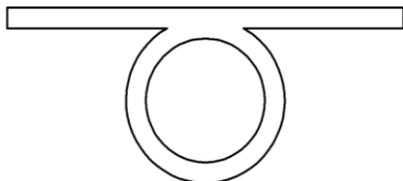


Рис. 2. Топология простого КЭР

Fig. 2. The Topology of Simple Circular Elliptical Resonator (CER)

Выражения (3) и (4) отображают зависимость резонансной частоты и геометрии кольца. Взаимосвязь резонансной частоты с эквивалентными индуктивностью и емкостью кольца устанавливает в соответствии с (5).

$$f_{рез1} = \frac{c}{\lambda\sqrt{\epsilon}} \tag{3}$$

$$l_{ср} = \left(1 + \frac{n}{2}\right)\lambda, \tag{4}$$

$$f_{рез2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{5}$$

Модель КЭР и результаты ее расчета представлены на рисунках 3 и 4.

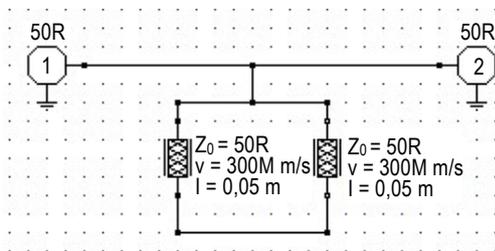


Рис. 3. Модель КЭР

Fig. 3. The Model of Simple CER

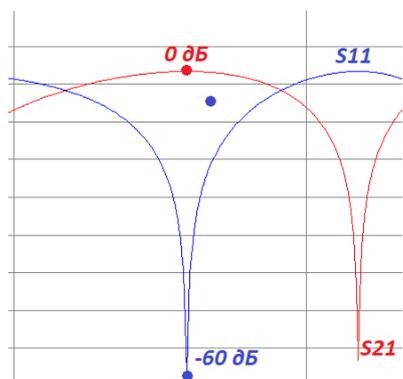


Рис. 4. Общий вид S-параметров КЭР

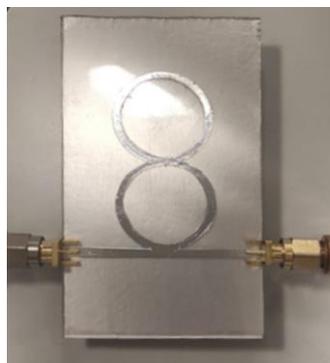
Fig. 4. The Image of S-Parameters Characteristics

Резонансная частота КЭР непосредственно связана с его геометрическими параметрами. Она определяется количеством длин полуволн, укладываемых в кольцо (3, 4), с учетом диэлектрической проницаемости материала. Кроме того, КЭР обладает и другой резонансной частотой, связанной с его погонными параметрами. Если представить КЭР как индуктивность и емкость линии передачи, то резонансную частоту можно вычислить по формуле (5).

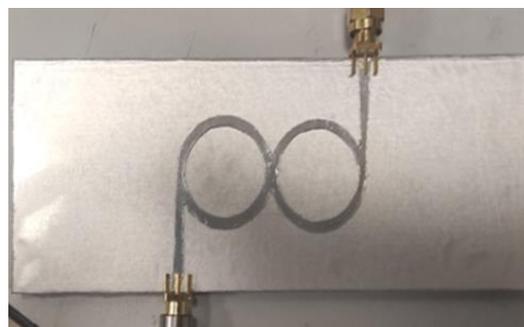
Исследованию резонансных свойств КЭР в зависимости от геометрии топологии посвящена статья [1], в которой была доказана работоспособность КЭР. Ключевым достижением стало совмещение двух ранее рассмотренных резонансных частот, что позволило достичь ослабления на резонансной частоте более 30 дБ. Стоит отметить, что такое значительное ослабление радиосигнала стало возможным только благодаря использованию кольца.

### Двойной кольцевой эллиптический резонатор

В рамках эксперимента конструкция двойного КЭР была успешно интегрирована в макет платы СВЧдиапазона. Были изготовлены макеты КЭР с расчетной частотой 3 ГГц (рисунок 5) и проведены измерения на векторном анализаторе цепей в частотном диапазоне от 1 до 15 ГГц.



а)



б)

Рис. 5. Макеты двойного КЭР: а) типа «восьмерка»; б) типа «спираль»

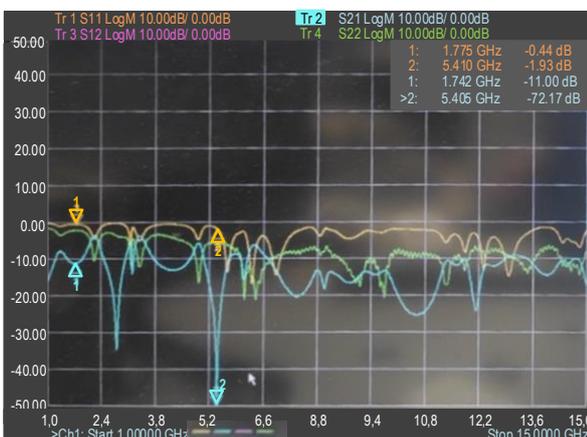
Fig. 5. Double CER Layouts in the Form of "Eight" (a) and "Spiral" (b)

В ходе эксперимента были исследованы различные способы включения резонаторов в линию тракта, а также рассмотрено, как эти способы влияют на итоговые характеристики резонаторов.

Результаты исследования первого макета (рисунок 6а) показали, что конструкция с подключением типа «восьмерка» обеспечивает наилучшее согласование с точки зрения потерь на частоте около 1,5 ГГц. Но наибольший интерес представляют данные эксперимента с топологией макета «спираль» (рисунок 6б). На частоте 2,7 ГГц, которая была близка к расчетной, был замечен резонанс с ослаблением более 30 дБ. Но самое удивительное – это вторая резонансная частота характеристики, которая была вдвое выше первой и составляла примерно 5,4 ГГц, с ослаблением около 72 дБ.



а)



б)

Рис. 6. Результаты эксперимента двойного КЭР типа «восьмерка» (а) и типа «спираль» (б)

Fig. 6. Measurement Results CER in the Form of "Eight" (a) and "Spiral" (b)

За годы научной работы в СПбГУТ исследовались КЭР различных конструкций: как планарные, так и объемные структуры кольцевых резонаторов, а также всевозможные типы питающих линий (микрополосковые, спиральные, коаксиальные, объемный волновод) [2, 3]. Тема КЭР стала предметом интереса ученых из различных областей науки

[4–6]. После проведения многочисленных исследований было вновь подтверждено, что свойства устройства в целом во многом зависят от способа питания кольца.

#### Преселектор частоты на основе КЭР

Из сказанного ранее следует, что один КЭР можно легко использовать для создания преселективных фильтров, которые будут работать на частоте тракта. Также существует возможность объединить несколько КЭР с разными резонансными частотами в одно устройство, которое будет функционировать на близких частотах. Ожидается, что с помощью одного канала передачи можно будет обрабатывать сигналы на разных частотах, и эта структура будет напоминать аналоговый демультимплексор.

#### Усилитель на КЭР

Несмотря на свою простоту, КЭР обладает значительным потенциалом. Помимо своих селективных свойств, он может применяться для усиления и сложения мощности активных двухполюсников.

В работе [7] были исследованы различные способы включения активных двухполюсников в структуру кольцевого резонатора. В одном из экспериментов использовался обычный туннельный диод, соединенный с кольцом. В итоге было достигнуто усиление сигнала на заданной частоте до 14 дБ при конкретной геометрии КЭР. Этот результат может найти применение в устройствах с подавлением побочных гармоник.

Аналогичная конструкция КЭР также рассматривалась как способ суммирования мощности сигналов, исходящих от нескольких активных двухполюсников [8].

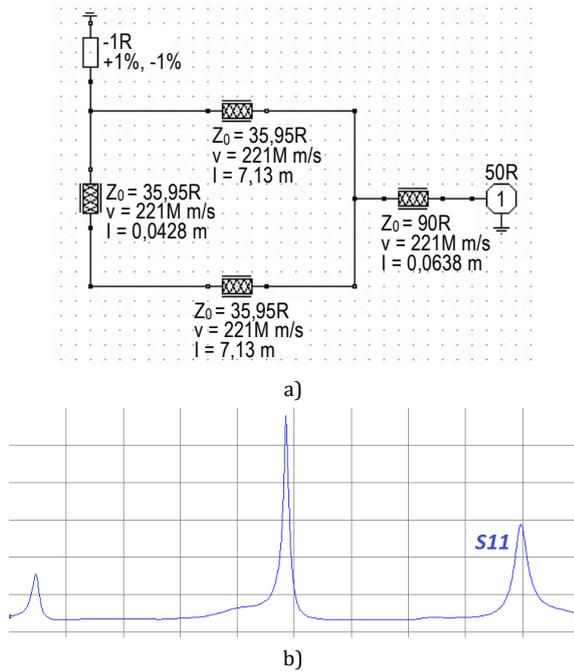
#### Генератор на основе КЭР

Классическая структура микроволнового генератора представляет собой источник электромагнитных колебаний, окруженный резонатором. В работах [9–11] были изучены генераторы на основе КЭР с интегрированным двухполюсником. В ходе эксперимента была достигнута впечатляющая согласованность результатов расчетов и эксперимента (рисунки 7–9).

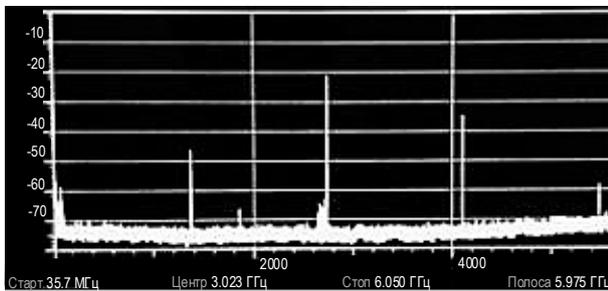
#### Проблема коммутации КЭР и основного тракта

В последнее время ученые активно изучают распределение электромагнитного поля в КЭР. Как уже неоднократно отмечалось, свойства КЭР во многом зависят от способа питания резонатора. При обычной гальванической связи волна входит в кольцо и распространяется в двух направлениях, что приводит к образованию стоячей волны. Теоретически, можно создать условия для распространения волны только в одну сторону, что значительно повысит добротность резонатора. Создание такого

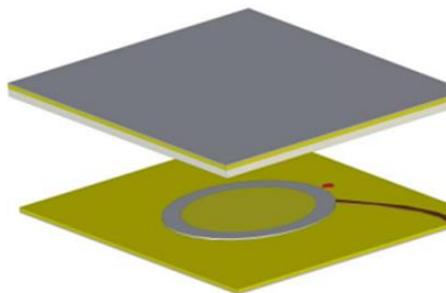
резонатора позволит создать бегущую волну, потенциал использования которой практически безграничен.



**Рис. 7. Принципиальная схема (а) и эмуляция работы (б) генератора на КЭР в программе RFSimm**  
 Fig. 7. RFSimm Schematic Diagram (a) and RFSimm Simulation (b) of the Generator Based on the CER



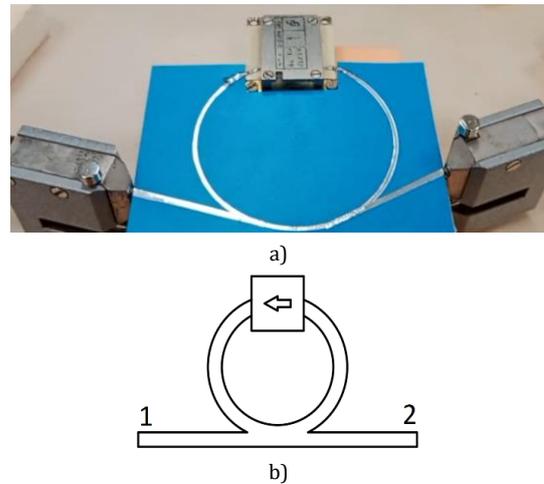
**Рис. 8. Результаты эксперимента по генерации частоты на КЭР**  
 Fig. 8. Experimental Results of the Generator Based on CER



**Рис. 9. Эпюр макета генератора на КЭР**  
 Fig. 9. Plot of Generator Based on CER

В [7] были рассмотрены несколько способов ограничения направлений распространения электромагнитной волны в КЭР: использование ферритовых вентилях и направленных ответвителей.

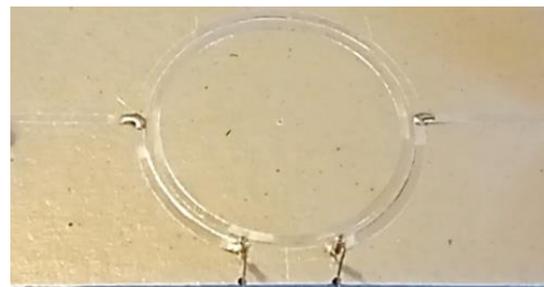
В ходе исследования были разработаны несколько моделей КЭР, в которые были интегрированы микроволновые вентили (рисунок 10). В результате эксперимента было достигнуто невзаимное распространение волны в тракте. Потери на рабочей частоте от порта 1 к порту 2 составили 15 дБ, а от порта 2 к порту 1 – около 21 дБ. Этот результат свидетельствует о том, что удалось частично ограничить направление распространения волны.



**Рис. 10. Макет КЭР (а) и его структура (б) с интегрированным вентилем**

Fig. 10. The CER Layout (a) and its Structure (b) with an Integrated RF-Valve

Также был рассмотрен метод возбуждения волны в резонаторе с помощью направленных ответвителей на связанных линиях с различной направленностью (рисунок 11). Было исследовано несколько макетов, в которых кольцо возбуждалось через обычные ответвители и направленные ответвители на нерегулярной линии. Эксперимент показал, что масштабный макет с направленными ответвителями на обычных связанных линиях имеет большее ослабление (около -25 дБ), чем макет с ответвителями на нерегулярных линиях (около 12 дБ).



**Рис. 11. Макет КЭР с возбуждением волны через направленные ответвители**

Fig. 11. A CER Layout with Wave Excitation through Directional Couplers

### Заключение

Для создания КЭР можно использовать различные типы линий: микрополосковые, коаксиальные, копланарные, щелевые и другие. Эти резонаторы нашли широкое применение в самых различных устройствах: от частотной селекции до усилителей, генераторов, устройств распределения мощности и даже в создании не взаимных систем. Большинство макетов КЭР изготовлено с использованием аппликационного метода на органических диэлектриках,

их работоспособность была доказана экспериментально. Применение промышленных материалов и технологий изготовления, безусловно, позволит улучшить характеристики устройств на основе КЭР. Применение резонаторов подобного типа расширяет возможности разработчиков и создает дополнительную элементную базу интегральной микроволновой электроники. Добротность, технологичность, конформность и удобство подстройки делают КЭРы незаменимыми в современной микроэлектронике.

### Список источников

1. Сазоненко Н.Ю., Седышев Э.Ю. Устройства частотной селекции на основе кольцевых эллиптических резонаторов на микрополосковой линии // *Электроника и микроэлектроника СВЧ*. 2019. Т. 1. С. 409–411. EDN:NVXLXX
2. Кондрашова М.А., Сазоненко Н.Ю., Селиверстов Л.А., Улитина А.С., Седышев Э.Ю. Частотно-селективные устройства на кольцевых эллиптических резонаторах // *Проектирование и технология электронных средств*. 2019. № 2. С. 13–20. EDN:XCNOUK
3. Леонтьев А.С., Седышев Э.Ю. Синтез устройства частотной селекции на кольцевых эллиптических резонаторах в объёмном интегральном исполнении // *Электроника и микроэлектроника СВЧ*. 2022. Т. 1. С. 382–386. EDN:SYGCBG
4. Коркина А.Р. Микроволновый датчик для анализа примесей в оливковом масле // *Международная молодёжная научная конференция, посвященная 60-летию со дня осуществления Первого полета человека в космическое пространство и 90-летию Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ «XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых)» (Казань, Российская Федерация, 10–11 ноября 2021 г.)*. Т. VI. Казань: ИП Сагиева А.Р., 2021. С. 166–171. EDN:GRUMXI
5. Lobekin V., Tatarenko A., Belyshev A., Bichurin M. Resonator for micro-wave magnetoelectric effect // *Proceedings of the 29th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2019, Sevastopol, Russian Federation, 8–14 September 2019)*. 2019. Vol. 30. DOI:10.1051/itmconf/20193007012
6. Коркина А.Р., Насыбуллина А.Р., Фархутдинов Р.В. Объемные кольцевые резонаторы в копланарном исполнении в качестве СВЧ датчиков для определения диэлектрической проницаемости жидкостей // *XXIV Международная научно-техническая конференция и материалы XX Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций. Оптические технологии в телекоммуникациях» (Уфа, Российская Федерация, 23–25 ноября 2022 г.)*. Уфа: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский университет науки и технологий", 2023. Т. 1. С. 345–347. EDN:COSIKS
7. Иванищева Е.Ф., Леонтьев А.С., Седышев Э.Ю., Федоров С.И. Особенности распространения волны в кольцевом эллиптическом резонаторе // *Электроника и микроэлектроника СВЧ*. 2024. № 1. С. 521–525. EDN:EZOWXQ
8. Бочаров Е.И., Подольская М.О., Седышев Э.Ю. Усилитель на активном двухполюснике, интегрированный в кольцевой эллиптический резонатор // *IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» (АПИНО-2020, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 26–27 февраля 2020 г.)*. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2020. Т. 3. С. 408–412. EDN:TSNVZG
9. Седышев Э.Ю., Шомин А.Ю., Исследование возможности одновременного использования нескольких активных двухполюсников при создании СВЧ генераторов // *IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» (АПИНО-2020, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 26–27 февраля 2020 г.)*. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2020. Т. 3. С. 514–519. EDN:NNESFL
10. Шомин А.Ю., Седышев Э.Ю. Генератор СВЧ в интегральном исполнении на кольцевом резонаторе // *Региональная научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей (Санкт-Петербург, Российская Федерация, 01–03 декабря 2020 г.)*. Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2020). Сборник лучших докладов конференции. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2021. С. 339–343. EDN:HEOMTO
11. Каткова Т.О., Седышев Э.Ю., Генератор СВЧ на кольцевом эллиптическом резонаторе в объёмном интегральном исполнении // *Электроника и микроэлектроника СВЧ*. 2021. Т. 1. С. 430–433. EDN:SWJDTM

### References

1. Sazonenko N.Yu., Sedyshev E.Yu. Frequency Selection Devices Based on Circular Elliptical Resonators on a Microstrip Line. *Elektronika i mikroelektronika SVCH*. 2019;1:409–411. (in Russ.) EDN:NVXLXX
2. Kondrashova M.A., Sazonenko N.Y., Seliverstov L.A., Ulitina A.S., Sedyshev E.Y. Frequency-selective devices on circular elliptical resonators. *Design and Technology Of Electronic Devices*. 2019;2:13–20. (in Russ.) EDN:CSGJRK
3. Leontyev A.S., Sedyshev E.Yu. Synthesis of a frequency selection device based on ring elliptic resonators in a three-dimensional integral design. *Elektronika i mikroelektronika SVCH*. 2022;1:382–386. (in Russ.) EDN:SYGCBG

4. Korkina A. Microwave sensor for analysis of impurities in olive oil. *Proceedings of the International Youth Scientific Conference dedicated to the 60th Anniversary of the First Manned Flight into Space and the 90th Anniversary of the Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, 10–11 November 2021, Kazan, Russian Federation. XXV Tupolev Readings. School of Young Scientists*. Kazan: Sagieva A.R. Publ.; 2021. p.166–171. (in Russ.) EDN:GRUMXI
5. Lobekin V., Tatarenko A., Belyshev A., Bichurin M. Resonator for micro-wave magnetoelectric effect. *Proceedings of the 29th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology", CriMiCo'2019, 8–14 September 2019, Sevastopol, Russian Federation, vol.30*. 2019. DOI:10.1051/itmconf/20193007012
6. Korkina A.R., Nasybullin A.R., Farkhutdinov R.V. Volume Ring Resonators in a Coplanar Design as Microwave Sensors for Determination of the Dielectric Permittivity. *Proceedings of the XXIV International Scientific and Technical Conference and Proceedings of the XXth International Scientific and Technical Conference "Problems of Telecommunication Engineering and Technology. Optical Technologies in Telecommunications", 23–25 November 2022, Ufa, Russian Federation*. Ufa: Ufa University of Science and Technology Publ.; 2023. p.345–347. (in Russ.) EDN:COSIKS
7. Ivanishcheva E.F., Leontyev A.S., Sedyshev E.Y., Fedorov S.I. Features of wave propagation in an elliptical ring resonator. *Elektronika i mikroelektronika SVCH*. 2024;1:521–525. (in Russ.) EDN:EZOWXQ
8. Bocharov E., Podolskaya M., Sedyshev E. Amplifier on an Active Two-Pole Integrated into a Ring Elliptical Resonator. *Proceedings of the IXth International Scientific, Technical and Scientific-Methodological Conference "Actual Problems of Infotelecommunications in Science and Education", APINO-2020, 26–27 February 2020, St. Petersburg, Russian Federation, vol.3*. St. Petersburg: The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications Publ.; 2020. p.408–412. (in Russ.) EDN:TSNVZG
9. Sedyshev E., Shomin A. Research of the Possibility of Simultaneous Use of Several Active One-Port Devices in Creation of Generators. *Proceedings of the IXth International Scientific, Technical and Scientific-Methodological Conference "Actual Problems of Infotelecommunications in Science and Education", APINO-2020, 26–27 February 2020, St. Petersburg, Russian Federation, vol.3*. St. Petersburg: The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications Publ.; 2020. p.514–519. (in Russ.) EDN:NNESFL
10. Shomin A., Sedyshev E. The Microwave Generator in Integral Design on a Ring Resonator. *Regional Scientific and Methodological Conference of Undergraduates and Their Supervisors, 01–03 December 2020, St. Petersburg, Russian Federation. Training of Professional Personnel in the Magistracy for the Digital Economy. Collection of the Best Conference Reports*. St. Petersburg: The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications Publ.; 2021. p.339–343. (in Russ.) EDN:HEOMTO
11. Katkova T.O., Sedyshev E.Yu. Microwave Generator on an Elliptical Ring Resonator in a Three-Dimensional Integral Design. *Elektronika i mikroelektronika SVCH*. 2021;1:430–433. (in Russ.) EDN:SWJDTM

Статья поступила в редакцию 25.11.2024; одобрена после рецензирования 19.12.2024; принята к публикации 23.12.2024.

The article was submitted 25.11.2024; approved after reviewing 19.12.2024; accepted for publication 23.12.2024.

## Информация об авторах:

**ЛЕОНТЬЕВ**  
Александр Сергеевич

аспирант, ассистент кафедры Электроники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича  
 <https://orcid.org/0009-0007-5778-5274>

**СЕДЫШЕВ**  
Эрнест Юрьевич

кандидат технических наук, доцент кафедры Электроники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича  
 <https://orcid.org/0009-0008-0002-3049>

Авторы сообщают об отсутствии конфликтов интересов.

The authors declare no conflicts of interests.