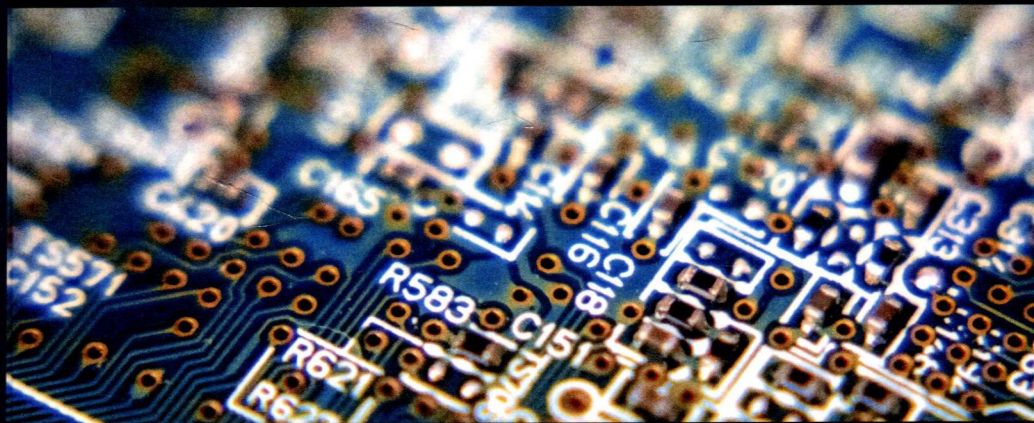


**В.М. Коломин  
В.Н. Рыбкин  
В.А. Иовдальский  
И.А. Соколов**



# **ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ СВЧ-ДИАПАЗОНА**



**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

**В.М. Коломин  
В.Н. Рыбкин  
В.А. Иовдальский  
И.А. Соколов**

# **ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ СВЧ-ДИАПАЗОНА**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

Под научной редакцией *С.В. Щербакова*  
кандидата технических наук, зам. генерального директора,  
директора по научной работе АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина,  
зав. кафедрой №143 РТУ МИРЭА

*Рекомендовано редакционно-издательским советом  
Российского технологического университета (МИРЭА) в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений, обучающихся  
по направлениям подготовки: 2.11.03.03, 2.11.04.03 «Конструирование  
и технология электронных средств» (квалификация «бакалавр», «магистр»)  
и 2.11.03.04, 2.11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»  
(квалификация «бакалавр», «магистр»)*

Москва  
КУРС  
2021

УДК 621.38  
ББК 32.850.4.2я73  
К61

ФЗ № 436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11
----------------	---

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Российского технологического университета (МИРЭА)*

**Рецензенты:**

*Лябин Н.А.* — доктор технических наук, доцент, начальник лаборатории Акционерного общества «Научно-производственное предприятие «Исток» им. А.И. Шокина;

*Новоселец В.И.* — доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник Акционерного общества «Научно-производственное предприятие «Исток» им. А.И. Шокина

**Коломин В.М.**

К61 Диэлектрические резонаторы для изделий электронной техники СВЧ-диапазона : учебное пособие / В.М. Коломин, В.Н. Рыбкин, В.А. Иовдальский, И.А. Соколов; под ред. С.В. Щербакова. — Москва: КУРС, 2021. — 150 с.

ISBN 978-5-907352-33-9

Учебное пособие посвящено вопросам совершенствования конструкции и технологии изготовления диэлектрических резонаторов, используемых в различных устройствах СВЧ-диапазона. Рассматриваются: конструкция, используемые материалы и технология изготовления диэлектрических резонаторов, а также их назначение и роль в формировании электрических характеристик различных устройств.

Пособие предназначено для студентов Российского технологического университета (МИРЭА) очной, очно-заочной и заочной форм образования квалификации «бакалавр» и «магистр», обучающихся по направлению 2.11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» и по направлению 2.11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», дисциплины: «Технология производства электронных средств», «Элементная база радиоэлектронных средств», «Основы проектирования электронной компонентной базы», «Технология электронной компонентной базы»; аспирантов и повышения квалификации инженерно-технических работников радиотехнических специальностей.

УДК 621.38  
ББК 32.850.4.2я73



ISBN 978-5-907352-33-9

© Коломин В.М., Рыбкин В.Н.,  
Иовдальский В.А., Соколов И.А., 2021  
© КУРС, 2021

# СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
<b>Глава 1</b>	
<b>Керамические диэлектрические резонаторы .....</b>	<b>6</b>
1.1. Представление о диэлектрических резонаторах .....	6
1.2. Классификация диэлектрических резонаторов.....	8
1.2.1. Открытые цилиндрические резонаторы на низших электромагнитных колебаниях.....	16
1.2.2. Коаксиальные диэлектрические резонаторы .....	17
1.2.3. Диэлектрические резонаторы сложной формы .....	21
1.3. Обеспечение конструктивно-технологических требований.....	22
1.4. Гарантирование высокой надежности работы ДР в устройствах СВЧ.....	23
1.5. Параметры диэлектрических резонаторов .....	24
1.5.1. Резонансная частота.....	28
1.5.2. Добротность .....	28
1.5.3. Температурный коэффициент частоты.....	31
1.5.4. Перестройка резонансной частоты ДР.....	34
Выводы.....	38
Контрольные вопросы .....	39
<b>Глава 2</b>	
<b>Основы технологии изготовления ДР .....</b>	<b>40</b>
2.1. Общие сведения о способах изготовления .....	40
2.2. Исходные компоненты для керамических диэлектрических резонаторов .....	42
2.2.1. Классификация исходных компонентов по степени чистоты .....	42
2.2.2. Характеристика подгрупп чистоты.....	42
2.2.3. Хранение исходных компонентов .....	43
2.2.4. Транспортирование и хранение ДР.....	44
2.3. Составление шихты .....	44
2.4. Смешивание и помол исходных компонентов.....	46
2.5. Прессование.....	48
2.6. Твердофазный синтез материалов для ДР .....	50
2.7. Термообработка (обжиг).....	52
2.8. Контроль электрических параметров и внешнего вида .....	53
2.8.1. Методы измерения диэлектрических материалов.....	59
2.8.2. Коаксиальный пробник.....	60
2.8.3. Метод с использованием линии передачи.....	61
2.8.4. Метод измерений в свободном пространстве .....	63

2.8.5. Резонансный метод измерения диэлектрических материалов с помощью объемного резонатора .....	64
2.8.6. Измерения параметров диэлектрических материалов методом параллельных пластин .....	67
2.8.7. Измерения магнитной проницаемости диэлектрических материалов методом измерения индуктивности .....	67
2.8.8. Сравнение методик измерений параметров диэлектрических материалов .....	69
2.9. Механическая обработка .....	70
Выводы .....	72
Контрольные вопросы .....	72

## **Глава 3**

### **Применение диэлектрических резонаторов в технике**

#### **СВЧ-диапазона ..... 74**

3.1. СВЧ-генераторы, стабилизированные диэлектрическими резонаторами .....	77
3.1.1. Особенности применения ДР в генераторах СВЧ-диапазона .....	82
3.1.2. Эффективность применения дисковых ДР в генераторах сантиметрового и миллиметрового диапазонов .....	82
Выводы .....	89
3.1.3. Исследование генераторов, стабилизированных дисковыми диэлектрическими резонаторами .....	90
Выводы .....	98
3.1.4. Фазовые шумы СВЧ-источников колебаний, стабилизированных диэлектрическими резонаторами .....	99
Выводы .....	109
3.1.5. Высокодобротный экранированный диэлектрический резонатор с ТЕ011-типом колебаний .....	109
Выводы .....	122
3.2. Фильтры СВЧ диапазона на диэлектрических резонаторах .....	123
3.3. Антенные устройства на диэлектрических резонаторах .....	129
3.4. Диэлектрические резонаторы в физических измерениях .....	132
3.4.1. Стандартные образцы диэлектриков и стандартные справочные данные. ....	134
Выводы .....	135
Контрольные вопросы .....	135

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ ..... 137**

#### **Библиографический список..... 138**