

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента доктора физико-математических наук,  
доцента Табакова Дмитрия Петровича на автореферат  
и диссертацию Фомина Дмитрия Геннадьевича на тему  
«Методика проектирования объемно-модульных  
частотно-селективных СВЧ устройств и её применение»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны,  
СВЧ-устройства и их технологии»

### **Актуальность темы диссертации**

Частотно-селективные СВЧ устройства широко применяются в качестве элементов современных систем приема, передачи и обработки информации. Разработка и реализация данных устройств сегодня осуществляется с помощью технологий, выбор которых определяется мощностью поступающих сигналов, диапазоном частот, допустимыми потерями и требуемыми массогабаритными характеристиками. В подавляющем большинстве используют плоскостное построение СВЧ устройств, не являющееся оптимальным с точки зрения массогабаритных характеристик и делающее экономически невыгодным замену отдельных функциональных узлов. Выходом из сложившейся ситуации является переход к объемно-модульному принципу построения СВЧ устройств, в связи с чем создание методик построения устройств, следующих указанному принципу, представляется крайне актуальной и перспективной задачей.

### **Научная новизна**

В диссертационной работе представлена методика проектирования объемно-модульных частотно-селективных СВЧ устройств, в основе которой лежит принцип схмотехнических аналогий элементов их конструкций. Предполагается, что базовым структурным элементом разрабатываемых структур является многослойный полосково-щелевой переход.

С привлечением матричного аппарата построена математическая модель электромагнитной связи в многослойном полосково-щелевом переходе.

В работе представлена конструкция многослойного полосково-щелевого перехода, позволяющая реализовать режимы возбуждения первой, второй и третьей мод его щелевого резонатора с целью увеличения ширины полосы частот согласования с антенно-фидерным трактом. С помощью представленной методики разработан ряд объемно-модульных конструкций (полосно-пропускающий фильтр, частотно-разделительное СВЧ устройство, частотно-перестраиваемое СВЧ-устройство). Новизна технических решений подтверждена патентами РФ.

### **Достоверность результатов**

Достоверность представленных в диссертации результатов подтверждается совпадением данных, полученных расчетным путем, и помощью эксперимента. Достоверность экспериментальных результатов обеспечивается использованием поверенного векторного анализатора цепей.

### **Теоретическая значимость работы**

Теоретическая значимость работы связана с разработкой методики проектирования объемно-модульных частотно-селективных СВЧ устройств на основе применения схмотехнических аналогий элементов их конструкций.

### **Практическая ценность работы**

В диссертации впервые исследована схмотехническая модель многослойного полосково-щелевого перехода, являющегося базовым структурным элементом СВЧ устройств, построенных на основе объемно-модульной технологии. Показано, что результаты, полученные с помощью схмотехнического моделирования, компьютерного моделирования и эксперимента, имеют хорошую степень совпадения. В диссертации предложена и впервые применена методика проектирования объемно-модульных частотно-селективных СВЧ устройств. Показано, что предложенная методика позволяет проектировать объемно-модульные частотно-селективные СВЧ устройства при проведении опытно-конструкторских разработок без использования дорогостоящего специализированного программного обеспечения.

## **Апробация результатов работы**

Материалы, представленные в диссертационной работе, прошли апробацию на 8 конференциях различных уровней, среди которых 5 международных конференций. По теме диссертационного исследования опубликовано 23 научные работы, в том числе 14 статей в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, из них 7 работ — в изданиях, входящих в международную реферативную базу данных, систему цитирования Scopus. Получено 4 патента РФ на разработанные устройства и полезные модели.

## **Реализация и внедрение результатов работы**

Результаты диссертационного исследования использованы при реализации гранта РФФИ 20-43-740006, а также рекомендованы для внедрения в учебный и производственный процессы.

## **Замечания по диссертации и автореферату**

По результатам анализа материалов диссертации и автореферата возникли следующие замечания:

1. При оценке степени разработанности темы исследования автор делает вывод об отсутствии методики проектирования объемно-модульных частотно-селективных СВЧ устройств при использовании схемотехнических аналогий элементов и их конструкций. В результате поставленная в диссертации задача выглядит как совершенно новая, хотя по факту существуют подобные методики для однослойных структур, и переход к проектированию объемных структур представляется в виде их дополнения механизмом учета взаимодействия между слоями.
2. В диссертации в части обзора методов анализа и проектирования объемных СВЧ устройств практически ничего не говорится о существующем на сегодняшний день строгом подходе, предполагающем использование систем интегральных уравнений с тензорной функцией Грина

для многослойных структур, имеющем самое непосредственное отношение к теме диссертации и по сути создающем верификационный базис для полученных в диссертации результатов.

3. В диссертации не затрагиваются проблемы, связанные с уменьшением габаритов разрабатываемых устройств, достигающихся за счет применения объемных технологий. Во-первых, это проблема возникновения паразитных связей между слоями, определяющихся топологией и степенью металлизации слоев. Во-вторых, проблемы роста омических потерь и ограничения по мощности для разрабатываемых конструкций. В-третьих, влияние точности изготовления плат на разброс характеристик устройств.
4. Судя по конструкциям, приведенным, например, на рис.3.11, 3.27, 3.28 диссертации, разработанные объемные СВЧ устройства имеют малый коэффициент использования поверхности, что снимает вопросы, указанные в предыдущем замечании, однако здесь возникает вопрос о преимуществах разработанных устройств перед более традиционными, однослойными аналогами. Также здесь становятся уместными пара вопросов о степени расхождения результатов, полученных в рамках предложенной методики и с помощью компьютерного моделирования, предполагающего использование строгих математических моделей. Первый вопрос касается статистической достаточности результатов. Второй вопрос связан с сохранением погрешности на заданном уровне при уменьшении габаритов разрабатываемых устройств.
5. Многие матрицы А-параметров в диссертации приводятся без выводов и указания на первоисточники, в которых они были получены.

Сделанные замечания и указанные недостатки не являются принципиальными и не снижают общей положительной оценки работы, ее научной значимости и практической ценности. Текст автореферата в целом соответствует тексту диссертации.

## Заключение

Диссертация Фомина Д.Г. «Методика проектирования объемно-модульных частотно-селективных СВЧ устройств и её применение» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой разработана методика проектирования объемно-модульных частотно-селективных СВЧ устройств и осуществлена её апробация на примере пассивных составных частей антенно-фидерного тракта. Работа соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ. Разработанная методика позволяет проектировать объемно-модульные частотно-селективные СВЧ устройства при проведении опытно-конструкторских разработок без использования дорогостоящего специализированного программного обеспечения. Считаю, что автор диссертационной работы, Фомин Дмитрий Геннадьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

Заведующий кафедрой физики  
ФГБОУ ВО «Поволжский  
государственный университет  
телекоммуникаций и информатики»,  
д.ф.-м.н., доц.

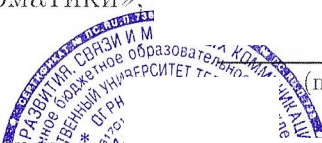


Д.П. Табаков

(подпись)

14.09.2023

Подпись Табакова Д.П. заведующий кафедрой физики,  
Ученый секретарь Ученого  
ФГБОУ ВО «ПГУТИ»



О.В. Витевская

(подпись)

Табаков Дмитрий Петрович, доктор физико-математических наук, доцент  
(научная специальность: 1.3.4 – Радиофизика), заведующий кафедрой физики  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Поволжский государственный университет теле-  
коммуникаций и информатики» (ФГБОУ ВО ПГУТИ)

Служебный адрес: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, д. 23

Тел. раб.: (846)339-11-00 доб. 2121

e-mail: d.tabakov@psuti.ru