

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Саяпина Кирилла Александровича  
«Синтез устройств согласования и фазового смещения радиосигналов»,  
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.4. «Радиофизика»

### **Актуальность выбранной темы и её научная практическая значимость**

Диссертационная работа К.А. Саяпина посвящена разработке и исследованию структур коаксиально-волноводных переходов и фиксированных фазовращателей, предназначенных для использования в контрольно-измерительной аппаратуре и в системах спутниковой и наземной связи.

Коаксиально-волноводные переходы являются одним из важнейших типов устройств согласования линий передачи, применяемых в современных системах связи и радиолокации. Несмотря на то, что данные устройства известны достаточно давно и им посвящено значительное число научных работ как отечественных, так и зарубежных специалистов, задачи синтеза и исследования новых электродинамических структур коаксиально-волноводных переходов, с целью улучшения их частотных характеристик по сравнению с известными аналогами, не теряют своей актуальности. Разработка указанных устройств, обладающих повышенной электрической прочностью и новыми конфигурациями сопрягаемых линий передачи, позволяющими эффективно использовать их в составе малогабаритных приемо-передающих трактов негерметичных систем спутниковой связи, также является актуальной задачей. Решению указанных задач посвящена часть диссертационной работы. При этом особое внимание уделено синтезу структур, имеющих оптимальный баланс между высокими частотными характеристиками и высокой электрической прочностью.

Другая часть диссертации посвящена исследованию возможностей по обеспечению фазовых сдвигов структурами электрических цепей на основе связанных и одиночных линий передачи со шлейфом. Возможности этих структур позволяют использовать их не только при построении широкополосных и сверхширокополосных фиксированных фазовращателей, востребованных в контрольно-измерительной аппаратуре, но и для создания управляемых дискретных фазовращателей с улучшенными параметрами, способных найти широкое применение в системах радиолокации.

Автор, стремясь не только достичь улучшенных частотных характеристик, но и обеспечить физическую реализуемость разрабатываемых структур фазовращателей и их высокую электрическую прочность, использует электрические цепи на основе либо одиночных, либо слабосвязанных линий передачи. Значительно уменьшить коэффициент связи между линиями передачи и получить улучшенные частотные характеристики позволило использование несогласованных нагрузок в виде короткозамкнутых шлейфов. Шлейф при этом не только выступает в качестве нагрузки, но и играет роль соединительного отрезка между связанными линиями, что выгодно отличает



рассматриваемую структуру от цепей с идеальным согласованием, достичь которое на практике сложно из-за невозможности реализации требуемой нулевой длины соединительного отрезка.

Таким образом, представленная работа является **актуальной**.

### **Научная новизна полученных в диссертации результатов**

В диссертационной работе получен ряд новых научных результатов. Наиболее существенные результаты можно перечислить следующим образом:

1. Проведен анализ влияния формы зонда коаксиально-волноводных переходов с емкостной связью на частотные характеристики коаксиально-волноводных переходов и их электрическую прочность. Показано, что оптимальная форма зонда представляет собой цилиндр с фасками.

2. Разработаны и исследованы структуры уголковых коаксиально-волноводных переходов индуктивного типа, отличающиеся от известных отсутствием в коаксиальном соединителе твердых прецизионных СВЧ-диэлектриков. Указанная особенность позволила улучшить частотные характеристики устройства и повысить его электрическую прочность.

3. Разработаны и исследованы структуры соосных коаксиально-волноводных переходов индуктивного типа, отличающиеся от известных структур использованием согласующей секции на основе отрезка полосковой линии передачи, что позволило расширить рабочий диапазон частот и улучшить согласование.

4. Разработаны и исследованы структуры соосных коаксиально-волноводных переходов, отличающиеся от известных использованием ёмкостного типа связи, позволяющей улучшить частотные характеристики устройства.

5. Разработаны и исследованы структуры уголковых коаксиально-волноводных переходов с индуктивным типом связи, отличающиеся от известных подключением коаксиальной линии передачи через боковую узкую стенку волновода.

6. Исследованы структуры электрических цепей широкополосных фиксированных фазовращателей на основе неоднородных одиночных линий передачи с неоднородными шлейфами, имеющие в 1,3-3,0 раза меньшие габариты, чем структуры на основе однородных шлейфов.

7. Исследованы широкополосные фиксированные фазовращатели с новой структурой электрической цепи на основе связанных линий передачи класса II, нагруженных короткозамкнутым шлейфом. При равном числе ступеней предложенная структура обеспечивает меньшее значение коэффициента связи линий передачи и меньшее отклонение фазочастотной характеристики от заданного номинального значения по сравнению с фазовращателями на С-звеньях.

8. Исследована двухэлементная структура микрополоскового широкополосного фазовращателя на основе связанных линий передачи со шлейфом, обеспечивающая меньший коэффициент связи между линиями, чем аналогичная структура на С-звеньях.

### **Рекомендации по использованию результатов диссертации**

Результаты диссертации представляют значительный интерес для различных научно-производственных предприятий, научно-исследовательских организаций и высших



учебных заведений соответствующего профиля. В частности, они могут быть использованы:

1. В образовательных учреждениях России: СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (г. Санкт-Петербург), СГТУ имени Гагарина Ю.А. (г. Саратов), МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва),
2. В научно-исследовательских организациях: СФ ИРЭ РАН (г. Саратов), ИПФ РАН (г. Нижний Новгород).
3. На научно-производственных предприятиях: АО «НПП «Алмаз» (г. Саратов), АО «НПП «Контакт» (г. Саратов), АО «НПП «Исток».

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из списка сокращений, введения, трёх глав, заключения и списка литературы, включающего в себя 205 наименований. Общий объём работы составляет 181 страницу, содержащую 82 рисунка и 22 таблицы.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, представлены научная и практическая значимость результатов исследования, научная новизна полученных результатов, положения, выносимые на защиту, а также сведения о достоверности полученных результатов и апробации работы.

**Первая глава** посвящена обзору структур коаксиально-волноводных переходов и фиксированных фазовращателей, а также методам их синтеза и анализа. Рассмотрены известные конструкции угловых и соосных коаксиально-волноводных переходов с ёмкостным и индуктивным типами связи, а также структуры электрических цепей фиксированных фазовращателей на основе связанных и одиночных линий передачи с согласованными и несогласованными нагрузками. Описаны факторы внешней среды, действующие на СВЧ-устройства в условиях космического вакуума. Особое внимание при этом уделено зависимости электрической прочности электродинамических структур исследуемых устройств от величины атмосферного давления. Также кратко описаны методы синтеза и анализа электродинамических структур, использованные в диссертационной работе.

**Вторая глава** посвящена рассмотрению структуры коаксиально-волноводных переходов с емкостным и индуктивным типами электромагнитной связи, имеющие как угловую, так и соосную конфигурацию согласуемых линий передачи. Предложен ряд новых структур в качестве элементов согласования для коаксиально-волноводных переходов, позволяющих получить улучшенные частотные характеристики по сравнению с известными аналогами, а также реализовать новые конфигурации сопрягаемых линий передачи: например, рассмотрен переход, в котором подключение коаксиальной линии передачи к волноводу осуществлено через его узкую боковую стенку. Для устройств, ориентированных на применение в трактах с высоким уровнем СВЧ-мощности при пониженном атмосферном давлении, проведены исследования электрической прочности, включающие в себя анализ условий возникновения газового и мультипакторного разрядов.

**В третьей главе** рассмотрены новые структуры электрических цепей широкополосных и сверхширокополосных фиксированных фазовращателей. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований структур фиксированных фазовращателей на основе одиночных неоднородных линий передачи с неоднородными короткозамкнутыми шлейфами, показавшие улучшенные характеристики предложенных структур по сравнению с известными аналогами с однородными шлейфами. Также проведены комплексные исследования возможностей структур фиксированных фазовращателей на основе связанных плавных и ступенчатых связанных линий передачи с несогласованными нагрузками по фазовому смещению, показавшие их превосходство в части частотных характеристик по сравнению со структурами с согласованными нагрузками.

**В заключении** приводятся основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Диссертационная работа выполнена на хорошем научном уровне, ее результаты доложены на ряде российских и международных конференциях и опубликованы в многочисленных журнальных и конференционных статьях. Автореферат соответствует тексту диссертационной работы.

### **Недостатки в содержании и оформлении диссертации**

К диссертационной работе имеются следующие **замечания**:

1. В тексте диссертации и автореферата на неё присутствует избыточное количество сокращений, некоторые из которых (например, БРК) упоминаются лишь 2-3 раза.

2. Некоторые аббревиатуры, встречающиеся в тексте диссертации, не приведены в списке сокращений (например, «ВАЦ»).

3. Вызывает возражение формулировка раздела **Предмет исследования**. Предметом исследования не могут быть синтез и анализ, а могут быть методы синтеза и анализа. Кроме того, считается, что предмет исследования является частью объекта исследования. Поэтому сначала следует указывать объект исследования, а затем предмет исследования, а не наоборот, как это сделано в тексте автореферата и диссертации. И если автор считает, что объектом исследования являются структуры КВП и ФФ, то предметом исследования могли бы быть характеристики указанных структур и методы их улучшения.

4. Формулировки пунктов 1 и 5 раздела **Научная новизна** представляются не достаточными, так как не указано, какие новые результаты и достижения получены при анализе в п.1 и при и разработке и исследовании в п. 5.

5. При рассмотрении факторов внешней среды, влияющих на функционирование радиоэлектронной аппаратуры в условиях космического пространства, по большей части рассматривается влияние пониженного давления на электрическую прочность СВЧ-узлов. Было бы целесообразным рассмотреть и другие воздействия.



6. В главе 2 недостаточно подробно рассмотрено влияние физических свойств материалов и покрытий волноводных каналов коаксиально-волноводных переходов на их электрическую прочность.

7. В главе 2 частично нарушилась нумерация разделов. При этом в автореферате нумерация указана корректно.

8. Рисунок 3.32 недостаточно чёткий. Кроме того, обозначения параметров схемы на нем несколько отличаются от обозначений, используемых в таблице 3.11.

Однако указанные замечания не умаляют заслуг соискателя и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

### **Общая оценка диссертационной работы**

Таким образом, диссертация Саяпина К.А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой проведены исследования по распространению и трансформации электромагнитных волн в электродинамических структурах устройств согласования и фазового смещения радиосигналов, позволившие создать новые типы коаксиально-волноводных переходов и фиксированных фазовращателей с улучшенными частотными характеристиками по сравнению с известными аналогами, а также имеющие повышенную электрическую прочность. **Результаты работы имеют большую теоретическую и практическую значимость.**

Диссертация полностью соответствует требованиям и критериям пп. 9-11, 13-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор – Саяпин Кирилл Александрович – заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.4. «Радиофизика».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук (05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии), ведущий научный сотрудник НИО-3 Публичного акционерного общества «Радиофизика»,

Скобелев С.П.  
28 августа 2024 г.

Подпись Скобелева С.П. заверяю.  
Учёный секретарь ПАО «Радиофизика»



Фролов С.В., к.т.н.

Скобелев Сергей Петрович  
Адрес: 125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 10  
Телефон: +7(905)-500-42-12  
E-mail: s.p.skobelev@mail.ru