

На правах рукописи

Говорун Илья Валериевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
МИКРОПОЛОСКОВЫХ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОТ
МОЩНОГО РАДИОИМПУЛЬСА С УПРАВЛЯЮЩИМ
ЭЛЕМЕНТОМ НА ОСНОВЕ ПЛЕНКИ ВТСП

01.04.03 – радиофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск
2011

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институте физики им. Л. В. Киренского Сибирского отделения РАН.

Научный руководитель: доктор технических наук,
Лексиков Александр Александрович

Научный консультант: кандидат технических наук,
Сержантов Алексей Михайлович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
Ветров Степан Яковлевич

кандидат технических наук,
Лалетин Николай Викторович

Ведущая организация: Томский Государственный Университет,
г. Томск

Защита состоится «22» декабря 2011 г. в 14 часов на заседании специализированного диссертационного совета Д 212.099.04 в Сибирском Федеральном Университете по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. им. Академика Киренского, 26.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского Федерального Университета.

Автореферат разослан «__» ноября 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук



Саломатов Ю. П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Как известно, электромагнитное излучение при превышении некоторого порога по мощности способно вывести из строя активные элементы приёмного канала радиосистемы. При поступлении на активный элемент (транзистор, микросхема) сигнала, мощность которого превышает максимальную мощность рассеивания активного элемента, произойдет тепловой пробой *p-n* перехода. Это, в свою очередь, приведет к выходу из строя всего приёмного канала.

Устройства защиты (УЗ) от мощного радиоимпульса применяются для защиты входных цепей приемников различного назначения как один из элементов в системах электронного противодействия, а также для защиты входных цепей приемника радиолокатора от собственного излучения. По физическому принципу действия УЗ подразделяются на несколько основных типов: газоразрядные, циклотронные, ферритовые, полупроводниковые и сегнетоэлектрические. В настоящее время наиболее широкое применение получили полупроводниковые УЗ (в основном на основе *p-i-n*-диодов). Однако они имеют довольно значительные времена срабатывания и при малой длительности импульса не способны защитить приёмную аппаратуру от мощного радиоимпульса.

Открытие высокотемпературной сверхпроводимости в 1986 году и достигнутый прогресс в повышении температуры перехода положили начало исследованиям возможности применения высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) в защитных устройствах. В первую очередь это связано с тем, что материал, обладающий высокотемпературной сверхпроводимостью, при протекании по нему тока, превышающего критическое значение, способен переходить из сверхпроводящего состояния в нормальное (со сравнительно высоким удельным сопротивлением) за рекордно малое время, менее 10^{-12} с.

Известные в настоящее время УЗ на основе ВТСП обладают особенностью, существенно ограничивающей их применение: в режиме ограничения устройство поглощает большую часть мощности, поступающей на вход. При высоких значениях мощности падающей электромагнитной волны устройство может выйти из строя (из-за испарения пленки), так как используемые в таких устройствах пленки ВТСП имеют малую толщину, 100-500 нм.

Таким образом, в настоящее время актуальной является проблема создания защитного устройства от мощного радиоимпульса на основе пленки ВТСП, которое в "открытом" режиме пропускало бы сигнал прак-

тически без ослабления, а в режиме ограничения большую часть мощности отражало бы от входа.

Цель диссертационной работы

Разработка конструкции устройства защиты от мощного радиоимпульса на основе микрополосковых резонаторов и ВТСП пленки, ограничение мощности в котором происходит в основном за счет отражения от входа.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Разработка концепции устройства защиты от мощного радиоимпульса на основе микрополосковых резонаторов и ВТСП пленки.
2. Моделирование устройств защиты, изготовление их макетов в частотном диапазоне 2...10 ГГц и их испытания на соответствие результатам моделирования.
3. Исследование конструкций устройств защиты с целью достижения максимального уровня ослабления сигнала при максимальном уровне его отражения от входа устройства в режиме ограничения и определения возможных ширин рабочих полос устройства.
4. Исследование возможностей регулирования порога срабатывания устройства защиты.
5. Исследование нелинейных свойств устройства защиты (генерации гармоник).

Научная новизна работы

Новые научные результаты, полученные в работе, состоят в следующем:

1. Сформулирована новая концепция устройства защиты от мощного радиоимпульса, основанная на резком снижении коэффициента связи микрополосковых резонаторов при срабатывании устройства, и разработаны на ее основе работоспособные конструкции.

2. Впервые на основе ВТСП разработано микрополосковое устройство защиты от мощного радиоимпульса, в котором ограничение сигнала при срабатывании происходит в результате практически полного, порядка 90 %, отражения от входа.

3. Впервые разработано микрополосковое устройство защиты на основе ВТСП, в котором порог срабатывания снижен до 10-20 мВт без применения смещающего тока.

4. Впервые разработано микрополосковое устройство защиты на основе ВТСП со столь низким уровнем, не более -60 дБ, генерации третьей гармоники.

Практическая значимость

Разработаны две работоспособные конструкции устройства защиты от мощного радиоимпульса на основе микрополосковых резонаторов и ВТСП пленки. На основе предложенных конструкций можно разрабатывать устройства защиты на частотный диапазон $1...10$ ГГц, с относительными рабочими полосами до 45%, с ослаблением сигнала в режиме ограничения на $25...50$ дБ, причем в основном за счет отражения от входа. При этом, уровень генерации третьей гармоники является рекордно малым (менее -60 дБ), причем порог срабатывания устройств можно понизить как минимум до 20 мВт без применения смещающего тока. Предложенные конструкции хорошо моделируются с помощью современных коммерчески доступных программных средств.

Научные положения, выносимые на защиту диссертации

1. Концепция устройства защиты от мощного радиоимпульса, основанная на резком снижении коэффициента связи микрополосковых резонаторов при срабатывании устройства.

2. Два способа реализации устройства защиты от мощного радиоимпульса на основе пары микрополосковых резонаторов со взаимно скомпенсированными емкостным и индуктивным взаимодействиями, связь между которыми осуществляется через элемент, содержащий ВТСП пленку.

3. Разработанные конструкции обладают нетипично низким для устройств защиты на основе ВТСП уровнем генерации третьей гармоники.

Апробация работы

Результаты работы были представлены и обсуждались на следующих конференциях:

- 19-ой Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», (Севастополь, Украина, 2009);
- 14-м Международном молодежном форуме «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», (Харьков, Украина, 2010);

- 10-ой международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2010», (Новосибирск, 2010);
- 3-ей Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы радиофизики АПР-2010» (Томск, 2010);
- Всероссийской с международным участием научно-технической конференции «Современные проблемы радиоэлектроники» (Красноярск, 2011);
- конференции молодых ученых КНЦ, (Красноярск, 2011).

Публикации

По теме диссертационной работы опубликовано 8 работ, из которых две статьи в периодических изданиях из списка ВАК и патент РФ на изобретение; список публикаций приведен в конце автореферата.

Личный вклад автора в получение научных результатов

Все основные результаты диссертации получены автором самостоятельно. Научный руководитель А. А. Лексиков принимал участие в постановке задачи исследований, обсуждении экспериментальных результатов и их интерпретации.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложений. Работа изложена на 104 страницах, включает 74 рисунка и 1 таблицу.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость результатов, перечислены основные положения выносимые на защиту, приведены сведения об апробации материалов диссертации.

Первая глава содержит обзор литературы. В нём даётся описание известных в настоящее время конструкций устройств защиты от мощного радиоимпульса на основе *p-i-n*-диодов, с использованием магнитостатических волн и на основе циклотронного резонанса. Отмечены их достоинства и недостатки, сделан вывод о перспективности УЗ на основе ВТСП пленок. Описаны основные электродинамические свойства ВТСП пленок, их возможные применения в защитных устройствах. Рассмотрены известные из литературы конструкции УЗ на основе пленок ВТСП, сделан вывод о их малой живучести.

Вторая глава посвящена описанию способа изготовления микрополосковых структур, использованного в работе. Так же описана методика измерения частотных и передаточных характеристик макетов, разработанных в рамках исследования УЗ.

В третьей главе сформулирована концепция микрополоскового устройства защиты, заключающаяся в следующем: устройство состоит из пары микрополосковых резонаторов, индуктивное и емкостное взаимодействие между которыми взаимно скомпенсировано, а связь осуществляется через управляющий элемент, свойства которого зависят от мощности поступающего в устройство сигнала. Управляющий элемент в данном случае выполнен из пленки ВТСП. Когда она находится в сверхпроводящем состоянии, устройство имеет полосу пропускания с малыми вносимыми потерями. При поступлении на вход устройства сигнала, мощность которого превышает некоторый порог, в ВТСП элементе наводятся токи, плотность которых превышает критическое значение. Вследствие этого ВТСП элемент переходит в нормальное (высокорезистивное) состояние и перестает нарушать компенсацию связей. В результате полный коэффициент связи между резонаторами устройства устремляется к нулю, и подавляющая часть мощности, поступающая на его вход, отражается от него.

В литературе известны конфигурации микрополосковых резонаторов [1,2], у которых полный коэффициент связи ведет себя аномально: обращается в ноль на резонансных частотах при определенном расстоянии между резонаторами. Это происходит вследствие того, что коэффициенты емкостной и индуктивной связи резонаторов, будучи разными по знаку, становятся равными по модулю. В результате на амплитудно-частотной характеристике двухзвенной секции на резонансных частотах вместо полосы пропускания формируется полюс затухания (режекции), что приводит к сильному отражению сигнала от входа такой конструкции.

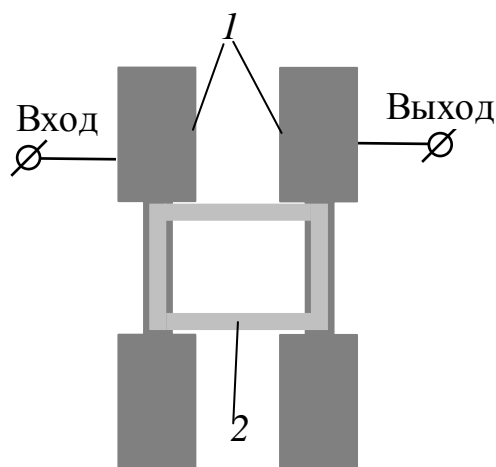


Рис. 1. Топология полосковых проводников варианта конструкции УЗ. 1 – полосковые проводники резонаторов, 2 – рамка из пленки ВТСП.

На рис. 1 приведена топология полосковых проводников двухрезонаторной секции с такой аномалией, которая соответствует и одному из вариантов конструкции УЗ. Элементом, нарушающим компенсацию связи между резонаторами является рамка из пленки ВТСП.

На рис. 2 приведена частотная зависимость коэффициента передачи устройства для двух случаев: 1 – рамка из ВТСП пленки находится в сверхпроводящем состоянии (открытое состояние устройства), 2 – рамка находится в нормальном состоянии (закрытое состояние устройства).

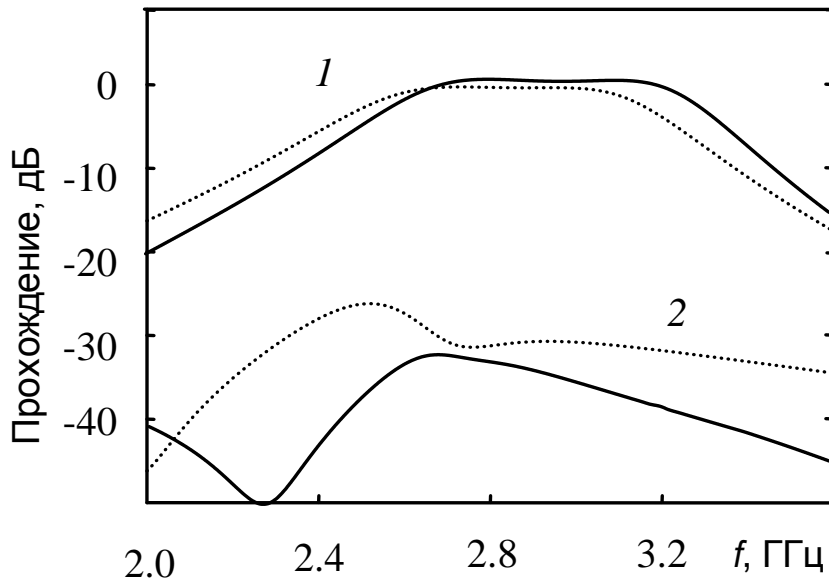


Рис. 2. АЧХ макета УЗ для двух состояний: 1 – ВТСП находится в сверхпроводящем состоянии; 2 – ВТСП в нормальном состоянии. Сплошная линия – моделирование, точки – эксперимент.

Как видно из рис. 2 относительная ширина рабочей полосы устройства составляет около 20 %, центральная частота 2.8 ГГц, а подавление сигнала в «запертом» состоянии составляет порядка 30 дБ. В «запертом» состоянии обратные потери в рабочей полосе составили примерно 0.5 дБ, что соответствует 89 % отражения падающей мощности.

Макет устройства имел следующие конструктивные параметры: подложка из поликора, толщиной 0.5 мм, $\epsilon=9.8$. Ширина низкоомных (широких) участков резонаторов составила 2 мм, высокоомных – 0.6 мм, длины низко- и высокоомных участков одинаковы, а общая длина резонатора – 15.6 мм, расстояние между резонаторами 0.36 мм. Ширина образующей ВТСП рамки 0.1 мм, внешние размеры 5.2×2.5 мм², толщина пленки ВТСП 0.1 мкм, зазор между проводниками резонаторов и рамкой ВТСП около 0.05 мм. Пленка ВТСП выполнена на отдельной собственной подложке из NdGaO₃, толщиной 0.5 мм. Подключение к внешним линиям

кондуктивное, а выбор точек подключения определялся из условия, чтобы уровень отражения в рабочей полосе устройства в «открытом» состоянии не превышал -14 дБ. Рабочая температура задавалась охлаждением жидким азотом.

Моделирование ВТСП в сверхпроводящем состоянии осуществлялось подстановкой значения его поверхностного сопротивления на рабочей частоте, взятого из литературных источников, а в нормальном состоянии – подстановкой значения его поверхностного сопротивления, взятого из паспортных данных на используемые пленки ВТСП, $109 \text{ Ом}/\square$.

Также была разработана подобная конструкция на центральную частоту 9 ГГц с относительной шириной полосы пропускания 10% . Её уровень ослабления в «запертом» состоянии составил 20 дБ .

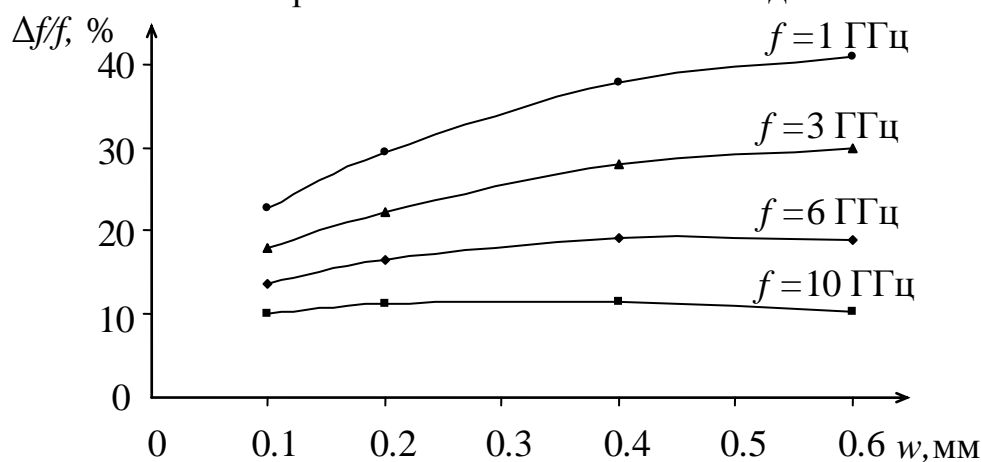


Рис. 3. Зависимость относительной ширины полосы пропускания УЗ с различными рабочими частотами от ширины образующей рамки ВТСП.

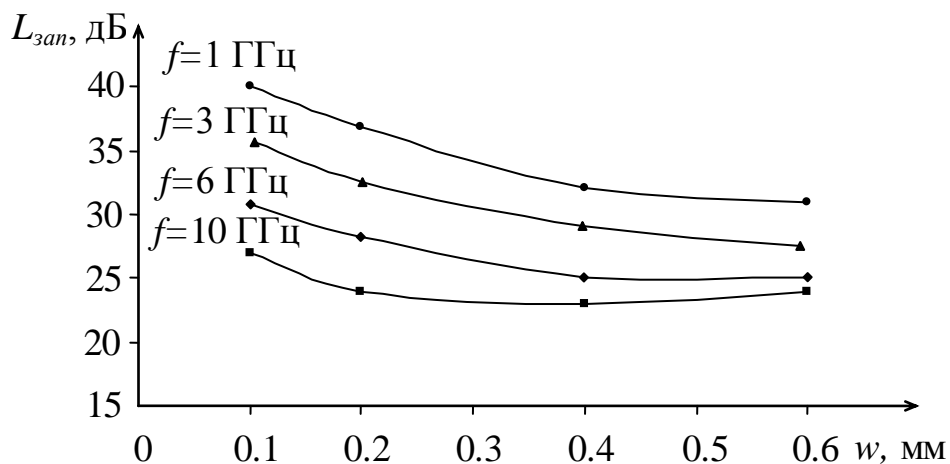


Рис. 4. Зависимость уровня ослабления в «запертом» состоянии УЗ с различными рабочими частотами от ширины образующей рамки ВТСП.

Хорошее совпадение результатов моделирования в программном продукте «*SonnetLite*» с экспериментальными данными позволило прове-

сти исследование конструкций предложенных устройств с его помощью. На рис. 3 приведены зависимости относительной ширины полосы пропускания ($\Delta f/f_0$) от ширины образующей рамки ВТСП для четырех различных центральных рабочих частот: 1 ГГц, 3 ГГц, 6 ГГц и 10 ГГц. На рис. 4 приведены зависимости уровня ограничения ($L_{\text{зап}}$) в «запертом» состоянии от ширины образующей рамки ВТСП для тех же четырех рабочих частот.

Видно, что с увеличением ширины образующей рамки ВТСП увеличивается относительная ширина полосы пропускания, но вместе с тем уменьшается уровень ослабления в «запертом» состоянии. Увеличение центральной рабочей частоты устройства приводит как к уменьшению относительной ширины полосы пропускания, так и уровня ослабления в «запертом» состоянии.

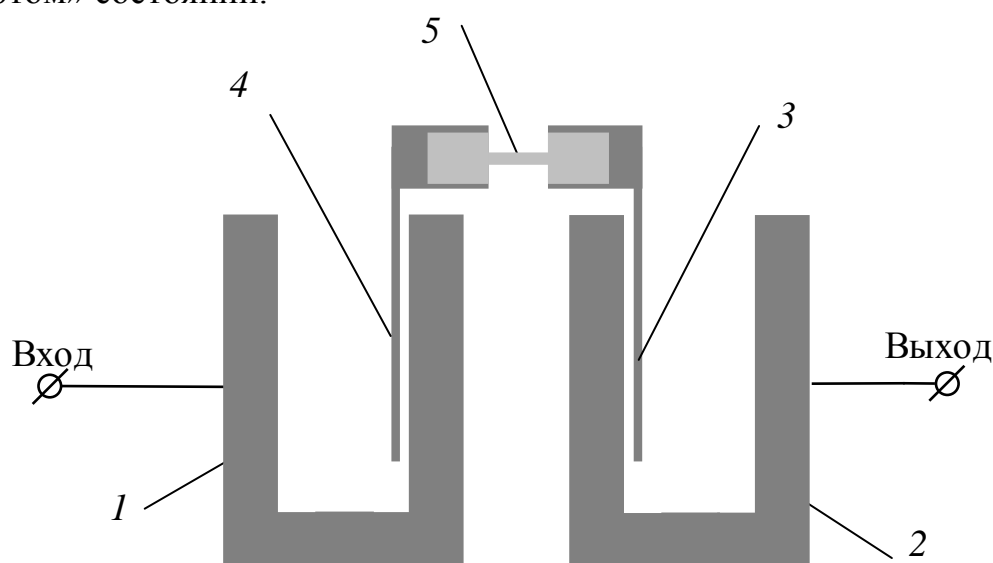


Рис. 5. Конструкция микрополоскового УЗ в виде трехзвенного фильтра с резонаторами в форме шпильки. 1, 2 – полосковые медные проводники входного и выходного резонаторов, 3, 4 – полосковые медные проводники среднего резонатора, 5 – ВТСП элемент.

На рис. 5 изображена топология полосковых проводников трехрезонаторного УЗ, в котором, как и ранее, в паре входной-выходной резонатор (1 и 2) непосредственная связь на резонансной частоте скомпенсирована, а полоса пропускания формируется с помощью третьего резонатора, состоящего из полосковых проводников 3, 4 и ВТСП пленочного элемента 5. При этом собственная частота такой резонансной системы совпадает с собственными частотами крайних резонаторов, а максимум СВЧ-тока в резонансе приходится на ВТСП элемент.

В этой конструкции расстояние между крайними резонаторами как раз выбрано таким, что в отсутствие ВТСП элемента 5 (это равнозначно отсутствию среднего резонатора) коэффициенты индуктивной и емкостной связи между входным и выходным компенсируют друг друга.

На рис. 6 приведены частотные зависимости коэффициента передачи макета устройства, конструкция которого приведена на рис. 5, для двух случаев – первый, когда ВТСП элемент находится в сверхпроводящем состоянии (1), и второй, когда ВТСП элемент находится в нормальном состоянии (2). Сплошными линиями приведены результаты, полученные моделированием с помощью программы «*SonnetLite*», а штрихованными линиями экспериментально измеренные. Видно, что когда ВТСП элемент находится в сверхпроводящем состоянии, устройство имеет полосу пропускания (рабочую полосу) шириной примерно 350 МГц, с центральной частотой около 2 ГГц. При переходе ВТСП элемента в нормальное состояние коэффициент передачи падает до $-20\dots-30$ дБ в рабочей полосе макета, и примерно также по результатам моделирования.

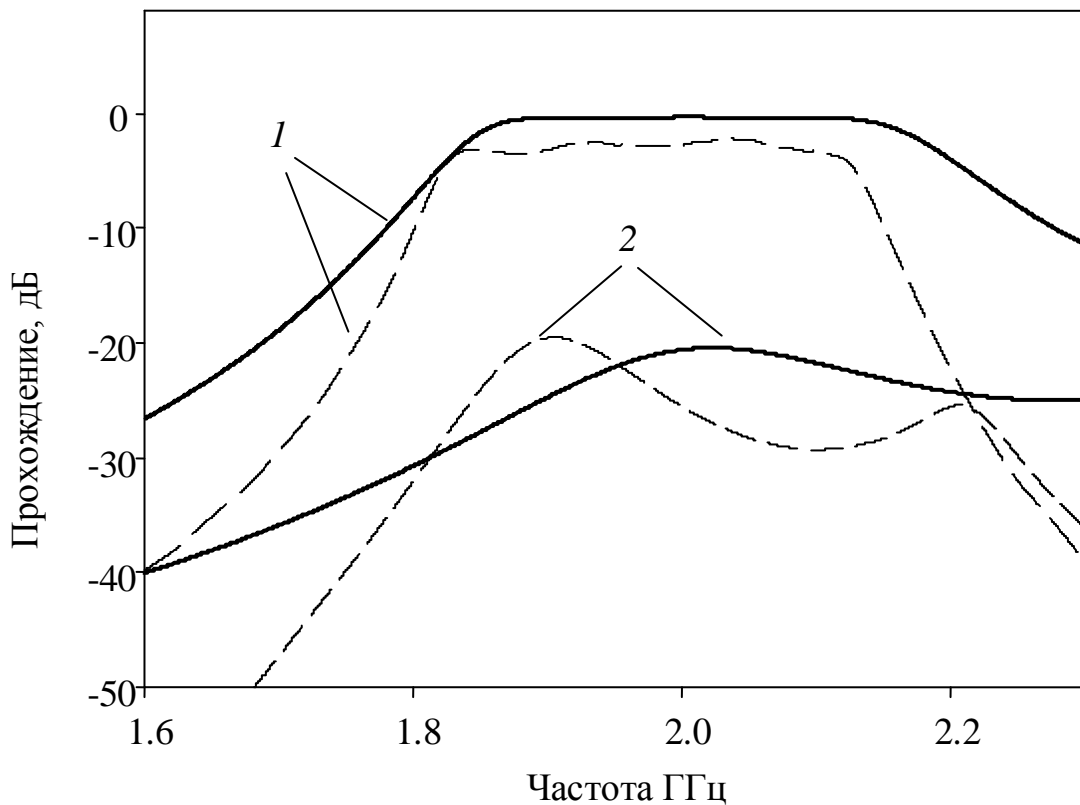


Рис. 6. АЧХ макета УЗ для двух состояний: 1 – ВТСП находится в сверхпроводящем состоянии; 2 – ВТСП в нормальном состоянии. Сплошные линии – моделирование, штрихованные линии – эксперимент.

Конструктивные параметры макета (фотография макета приведена на рис. 7) были следующими: подложка толщиной 0.5 мм из керамики поликор, размеры крайних резонаторов-шпилек: 10.2×8.2 мм при ширине обра-

зующего их полоскового проводника 0.6 мм, расстояние между ними 2.8 мм, размеры проводников, образующих составной резонатор: длина и ширина высокоомных участков 17.9 мм и 0.6 мм соответственно, длина и ширина низкоомных участков по 2 мм, зазоры между проводниками крайних резонаторов и проводниками среднего резонатора составляли 0.1 мм. В эксперименте использовались три пленочных ВТСП элемента (YBaCuO , толщина 0.1 мкм). Они были выполнены на подложке из NdGaO_3 толщиной 0.5 мм и имели форму «гантельки». При одинаковых размерах крайних участков (2×2 мм) и длине «перешейка» (1.4 мм) они отличались шириной последнего: 0.5 мм, 0.3 мм и 0.1 мм. В эксперименте ВТСП элемент прижимался своими широкими участками непосредственно к широким участкам проводников среднего резонатора (как показано на рис. 5), образующих составной резонатор. Рабочая температура устройства задавалась охлаждением жидким азотом.

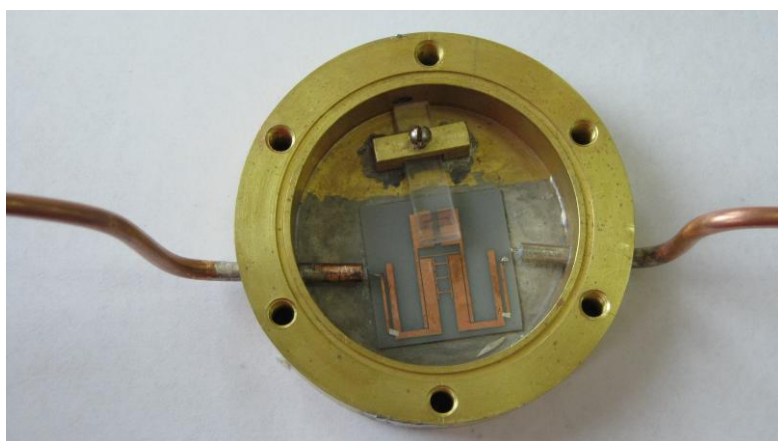


Рис. 7. Фотография макета устройства защиты.

Следует отметить, что приведенные на рис. 6 АЧХ устройства соответствуют ширине узкого участка ВТСП элемента, равной 0.3 мм.

Передаточная характеристика, наряду с АЧХ, является одной из важнейших характеристик УЗ. С её помощью можно определить порог срабатывания устройства (мощность, при которой устройство переходит в режим ограничения), а также уровень просачивающейся мощности.

На рис. 8 приведены передаточные характеристики макета защитного устройства (конструкция рис. 5) для трех значений ширины узкого участка ВТСП элемента w : 0.5, 0.3 и 0.1 мм. Измерения проводились в непрерывном режиме на частоте 2 ГГц. Во вставке приведены начальные участки этих зависимостей, из которых видно, что ширина узкого участка ВТСП элемента влияет на величину уровня входной мощности, при которой происходит резкое изменение «наклона» передаточной характеристики: при $w=0.5$ мм $P_{\text{вх}} \approx 50$ мВт, при $w=0.3$ мм $P_{\text{вх}} \approx 20$ мВт и при $w=0.1$ мм $P_{\text{вх}} < 10$ мВт. По существу эти мощности являются порогами срабатывания.

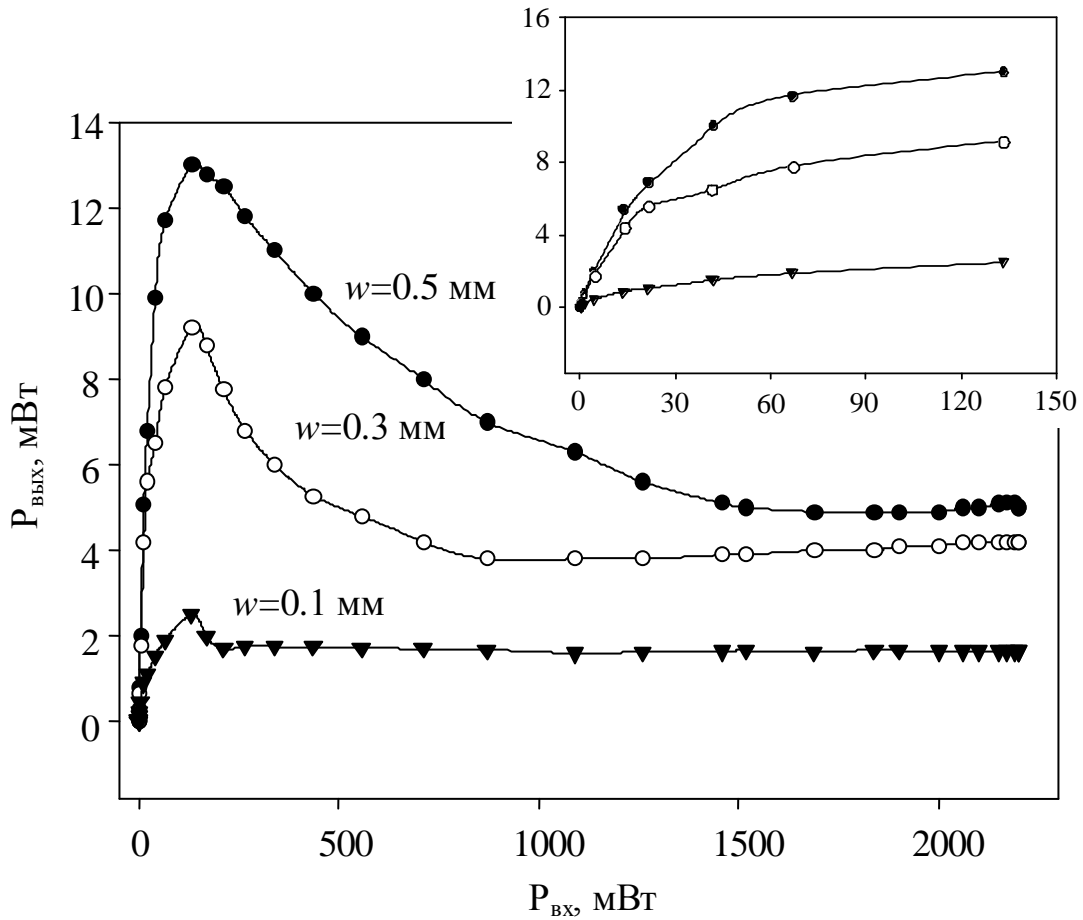


Рис. 8. Зависимость выходной мощности от мощности на входе макета устройства защиты для разных значений ширины узкого участка ВТСП элемента. Частота 2 ГГц.

Исследования УЗ на нелинейность проводились путем оценки уровня третьей гармоники. Для этого в схеме измерения передаточной характеристики на выходе УЗ устанавливался полосно-пропускающий фильтр, центральная частота которого совпадала с частотой 3-ей гармоники, а подавление на частоте первой составляло 60 дБ. Полученные зависимости оказались подобными изображенным на рис. 8, с той только разницей, что уровень выходного сигнала оказался ровно на 60 дБ ниже. Этот результат свидетельствует о том, что уровень третьей гармоники, поступающий на выход устройства, не превышает 10^{-6} от первой. Этот результат, по-видимому, связан с тем, что собственные селективные свойства данной конструкции УЗ достаточны для существенного подавления третьей гармоники.

Также с помощью моделирования было исследовано как ведут себя относительная ширина полосы пропускания ($\Delta f/f_0$) и уровень ослабления в «запертом» состоянии ($L_{\text{зан}}$) от центральной частоты полосы пропускания

устройства. Исследуемая модель конструкции отличалась от вышеописанной тем, что ВТСП элемент в ней представлял полосковый проводник шириной 0.1 мм, непосредственно соединяющий проводники среднего резонатора.

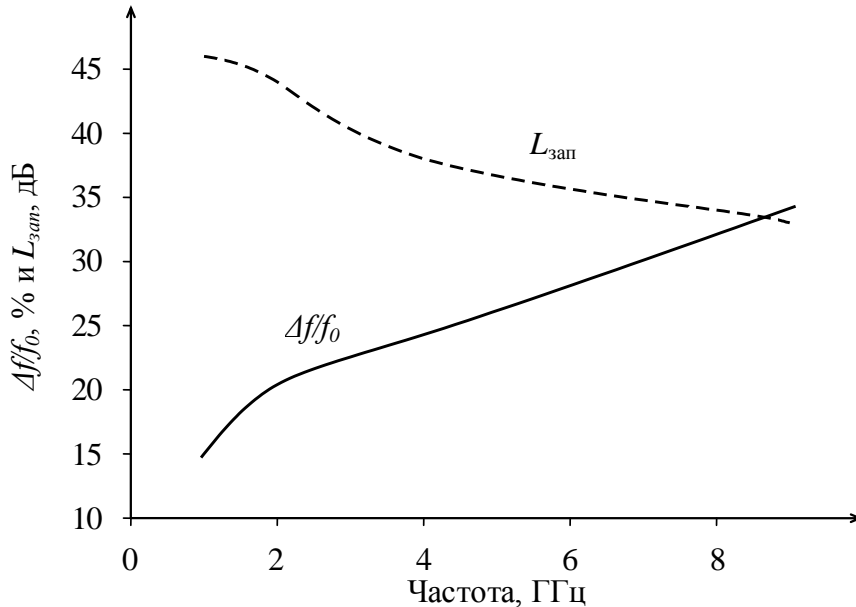


Рис. 9. Рассчитанные зависимости относительной ширины полосы пропускания (сплошная линия) и уровня заграждения в «запертом» состоянии (штрихованная линия) от рабочих частот устройства защиты.

Результаты исследования приведены на рис. 9, где сплошной линией показано, как ведет себя относительная ширина полосы пропускания, а штрихованной – уровень подавления сигнала в «запертом» состоянии в зависимости от рабочих частот устройства защиты. Как видно из зависимостей с увеличением рабочей частоты растет относительная ширина полосы пропускания, но между тем уменьшается ослабление в «запертом» состоянии.

Для оценки перспектив вышеописанной конструкции была исследована ее полностью планарная модель (т.е. пленочный ВТСП проводник выполнен на единой с полосковыми проводниками подложке, и имеет с ними гальванический контакт). На частоте 2.2 ГГц с относительной шириной полосы 26% можно достичь уровня подавления в «запертом» состоянии более 45 дБ при уровне отражения 0.29 дБ (93%).

Четвертая глава посвящена исследованию ВТСП фильтров с нескомпенсированными связями в качестве устройств защиты. Очевидно, что при поступлении на вход микрополоскового фильтра, проводники которого выполнены из ВТСП пленки, сигнала с мощностью, превышающей критическую, в нормальное состояние перейдет лишь участок резонатора, где плотность СВЧ-тока максимальна, а не все проводники фильтра целиком, как это предполагалось в [3]. Этот участок находится во входном ре-

зонаторе – в нем наводится большой СВЧ-ток, и в средней его части – где находится пучность этого тока, поэтому в подобных устройствах желательно тем или иным способом зафиксировать участок резонатора, переходящий в нормальное состояние.

На рис. 10 приведены топологии полосковых проводников вариантов модели устройства защиты на основе двухзвенных фильтров с нескомпенсированными связями.

Исследовалось влияние относительной длины (l_i/l_r) и ширины (W_i/W_e) участка, переходящего в нормальное состояние на уровни подавления $L_{зан}$ (рис. 10) и отражения $R_{зан}$ (рис. 11) в режиме ограничения в рабочей полосе устройства.

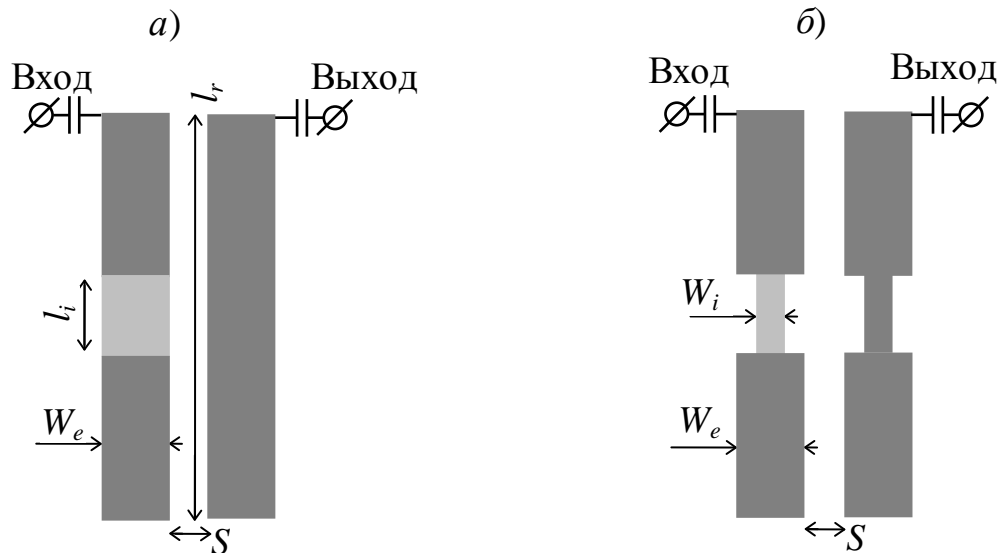


Рис. 10. Топологии полосковых проводников в моделях двухзвенных микрополосковых устройств защиты. Более светлым выделен участок резонатора, переходящий в нормальное состояние в режиме ограничения.

В моделировании использовались следующие конструктивные параметры: подложка с $\epsilon=10$, что соответствует сапфиру, толщина подложки 0.5 мм, $l_r=13.4$ мм, $W_e=0.6$ мм, $S=1.15$ мм. Центральная частота полосы пропускания в открытом состоянии всегда настраивалась на 4050 МГц, а относительная ширина полосы – на 7%.

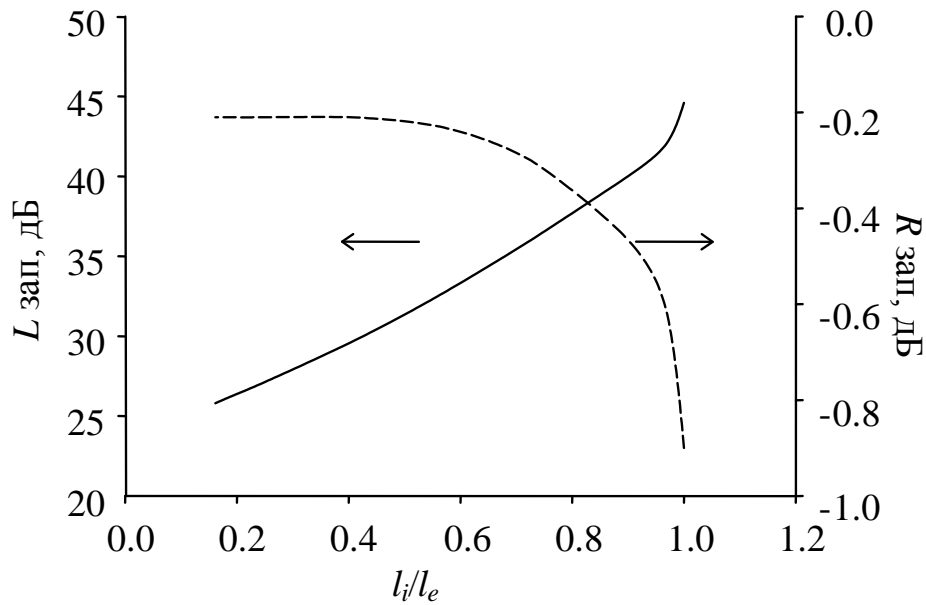


Рис. 11. Зависимости уровней подавления $L_{зан}$ и отражения $R_{зан}$ в рабочей полосе запертого устройства от относительной длины l_i/l_r среднего участка резонатора, переходящего в нормальное состояние, для конструкции, показанной на рис. 10а.

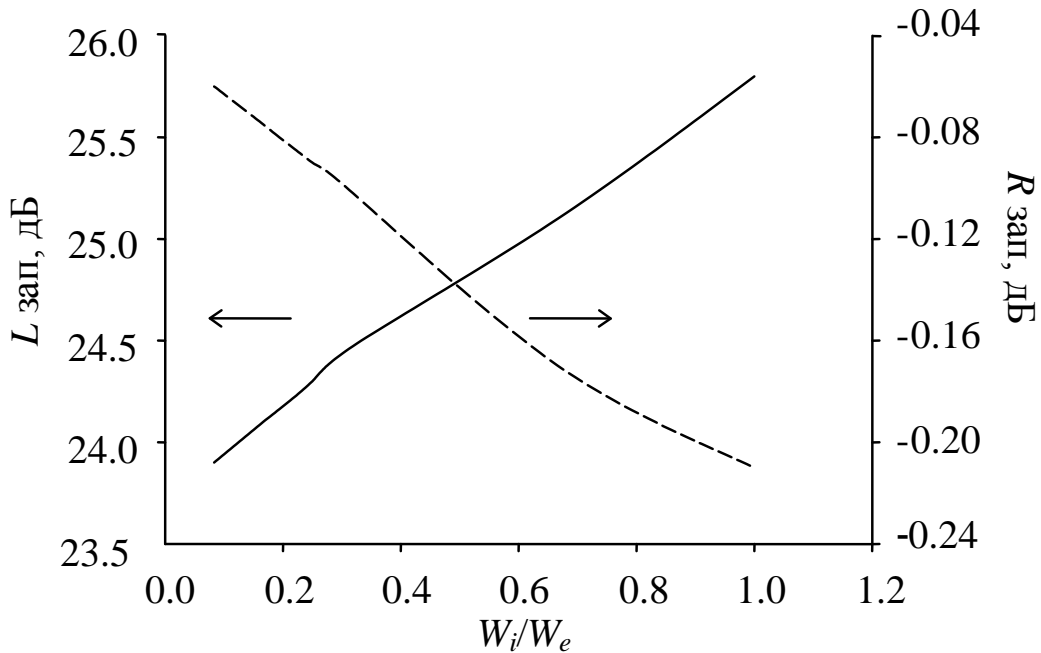


Рис. 12. Зависимости уровней подавления $L_{зан}$ и отражения $R_{зан}$ в рабочей полосе запертого устройства от относительной ширины W_i/W_e участка резонатора, переходящего в нормальное состояние, для конструкции, показанной на рис.10б.

Исследованы также конструкции на основе микрополосковых резонаторов в форме «шпильки». Результаты получились сходными.

В заключении приведены основные результаты и выводы работы .

Основные результаты и выводы

1. Разработана концепция устройства защиты от мощного радиоимпульса, основанная на резком снижении коэффициента связи микрополосковых резонаторов при срабатывании устройства.

2. Разработаны две конструкции устройства защиты от мощного радиоимпульса на основе пары микрополосковых резонаторов со взаимно скомпенсированными емкостным и индуктивным взаимодействиями, связь между которыми осуществляется через элемент, содержащий ВТСП пленку.

3. Проведены экспериментальные, а также с помощью численного моделирования, исследования предложенных конструкций, которые показали, что на их основе можно разрабатывать устройства защиты на частоты до 10 ГГц, с относительными рабочими полосами до 45%, с ослаблением сигнала в режиме ограничения на 25...50 дБ, причем в основном за счет отражения от входа, с рекордно малым, менее –60 дБ, уровнем генерации третьей гармоники. Порог срабатывания устройств можно понизить как минимум до 20 мВт без применения смещающего тока.

4. С помощью численного моделирования исследованы конструкции устройств защиты на основе микрополосковых резонаторов, содержащих ВТСП пленку, без компенсации индуктивного и емкостного взаимодействий между резонаторами. Показано, что хотя такие конструкции и демонстрируют приемлемые характеристики, однако по уровню отражения в режиме ограничения они уступают конструкциям с компенсацией связей.

5. Выработаны рекомендации по разработке устройств защиты на основе микрополосковых резонаторов с ВТСП элементом.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. **Беляев Б.А., Лексиков А.А., Сержантов А.М., Говорун И.В.** Микрополосковое защитное устройство // Труды 19-ой Международной Крымской конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (Кры-

МиКо'2009). Севастополь, 2009 г.: Материалы конф. — Севастополь: Вебер, 2009. – С. 511–512.

2. **Лексиков А.А., Говорун И.В.** Устройства защиты на основе микрополоскового фильтра с элементом связи из ВТСП пленки // материалы 14-го Международного молодежного форума. «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». Харьков, Украина 2010 г. – с. 26.

3. Пат. **2395872 Российская Федерация, МПК7 Н 01 Р 1/212 1/04** (2006.01). Микрополосковое защитное устройство/ Беляев Б.А., Лексиков А.А., Сержантов А.М., Говорун И.В.; заявитель и патентообладатель Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН. № 2009124193/09; заявл. 24.06.2009; опубл. 27.07.2010, Бюл. № 21.

4. **Говорун И.В., Лексиков А.А., Сержантов А.М.** Микрополосковое защитное устройство с управляющим элементом из ВТСП пленки // Материалы 10-ой международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2010», – Новосибирск, 2010, т. – 4, – с. 167-169.

5. **Говорун И.В., Лексиков А.А., Сержантов А.М.** Защитные устройства на основе микрополосковых резонаторов с ВТСП управляющим элементом. // Известия Высших Учебных заведений Физика. – 2010. Т.53 – №9/2 – с. 175-179.

6. **Говорун И.В., Лексиков А. А.** Исследование возможности применения микрополосковых ВТСП фильтров в качестве защитных устройств // Современные проблемы радиоэлектроники: Сб. науч. тр. / науч. ред. Г.Я. Шайдуров. Красноярск: Сиб. Федер. Ун-т, 2011. с. 300–305.

7. **Говорун И.В., Лексиков А. А.** Защитное устройство в микрополосковом исполнении со вставкой из пленки ВТСП // Сборник трудов. Конференция молодых ученых КНЦ СО РАН. Красноярск: Институт физики. СО РАН 2011. – с. 7–9.

8. **Беляев Б.А., Говорун И.В., Лексиков А. А., Сержантов А.М.** Микрополосковое устройство защиты от мощного радиоимпульса с ВСТП элементом // Журнал Радиоэлектроники – №7, – 2011.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. **Беляев Б.А., Лалетин Н.В., Лексиков А.А.** Коэффициенты связи нерегулярных микрополосковых резонаторов и частотно-селективные свойства двухзвенной секции на их основе // Радиотехника и Электроника. – 2002. – Т. 47. – № 1 – С. 14-23.

2. **Беляев Б.А., Сержантов А.М.**, Исследование коэффициентов связи шпильковых резонаторов // Радиотехника и Электроника. – 2004. – Т. 49. – №. 1 – С. 1-9.
3. **Козырев А. Б.** Эффект быстрого переключения сверхпроводниковых пленок и возможности его использования в СВЧ-микроэлектронике // Соросовский образовательный журнал. 2004. – Т. 8. – №. 1. – С. 93–100.

Подписано в печать 15.11.11.

Формат 60×85/16, усл. печ. л. 1

Тираж 70 экз. Заказ №62

Отпечатано в типографии Института физики СО РАН,
660036, Красноярск, Академгородок 50/38, ИФ СО РАН