

## МИНИАТЮРИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ СВЧ

Алдиярова А.

Алматинский университет энергетики и связи,  
кафедра специальных дисциплин, ВИИРЭиС

*Описаны основные перспективные направления миниатюризации устройств СВЧ, которые в наибольшей степени отвечают требованиям, предъявляемым к современной электронике.*

*Ключевые слова: микрополосковые волноводы, диэлектрические волноводы СВЧ-устройства.*

*The article describes the main prospective directions of SHF devices miniaturization that best meets the requirements of modern electronics.*

*Keywords: microstrip waveguides, dielectric waveguides, SHF devices.*

Развитие направления миниатюризации устройств СВЧ является одним перспективных и в наибольшей степени отвечающих требованиям, предъявляемым к современной электронике.

Проблемы совершенствования технических характеристик современных радиоэлектронных средств военного и гражданского назначения в большинстве случаев связаны с проектированием и изготовлением СВЧ компонентов приемопередающих модулей с требуемыми параметрами. Решение задач уменьшения их габаритов и массы, повышение надежности работы, помехоустойчивости и помехозащищенности, устойчивости к воздействию внешних дестабилизирующих факторов в значительной мере зависят от успехов в области создания новых более совершенных СВЧ компонентов.

Поскольку в состав любых радиоэлектронных изделий СВЧ входят полосовые фильтры, коммутационные устройства, синтезаторы частот, улучшение их технических характеристик является существенным фактором, определяющим решение проблемы создания современных малогабаритных средств связи, РЛС, средств радиотехнической разведки, позиционирования и т.д., такие устройства находят применение в радиоаппаратуре военного и двойного назначения. Малое время переключения с частоты на частоту позволяет использовать их в импульсных радиолокаторах, системах связи с прыгающей частотой и других устройствах.

Одно из направлений миниатюризации устройств СВЧ - это использование микрополосковых волноводов, представляющих собой узкие полоски металла на диэлектрической подложке с металлическим экраном на другой ее стороне. Высокая диэлектрическая проницаемость диэлектрика этих волноводов позволяют существенно уменьшить поперечные габариты волновода.

В полосковых линиях передач часто в качестве подложек используют диэлектрик на основе оксида алюминия - поликор ( $\epsilon = 9.6$ ), лейкосапфир ( $\epsilon = 11.4$ ), кроме того, любые диэлектрики

с низкими потерями ( $\epsilon \approx 7..16$  иногда до 10000-керамика).

Из-за неоднородности по сечению диэлектрического заполнения ЭМП имеет все 6 составляющих, а, следовательно,  $v_{\phi}$  зависит от частоты

$v_{\phi} = F(f)$ , т.е. дисперсия тем заметнее, чем больше  $\epsilon$ . Но при определенных геометрических соотношениях практически вся энергия сосредоточена внутри полосковой линии и продольными составляющими поля можно пренебречь – волна квази - *T типа*. В полосковой линии можно передавать мощности того же порядка, что и в коаксиальной линии. Для увеличения электрической прочности края центрального проводника закругляют. Дисперсионные явления тем резче, чем выше относительная диэлектрическая проницаемость подложки. Все это приходится учитывать при автоматизированном проектировании широкополосных СВЧ-устройств, когда точность компьютерных вычислений должна быть достаточной для того, чтобы изготавливать изделия, не требующие трудоемких и дорогих операций доводки и настройки.

*Диэлектрические волноводы* – это одно из наиболее перспективных направлений развития линий передачи электромагнитных сигналов в настоящее время (в основном в виде *волоконного световода*).

Диэлектрический волновод – это бесконечно длинный диэлектрический цилиндр радиуса  $a$ , выполненный из диэлектрика с параметрами  $\epsilon_a, \mu_0$  (среда-1), расположенный в среде с параметрами  $\epsilon_0, \mu_0$  (среда-2).

Несущая частота в оптическом диапазоне очень высока и полоса пропускания очень широкая - скорость передачи информации до тысяч Мбит/с.

С использованием полосковых волноводов могут быть созданы вентили резонансные, со смещением поля ( кроме фарадеева). Напомним, что магнитные (ферритовые) устройства призваны выполнять в системах СВЧ-диапазона две главные задачи: обеспечение невзаимности (то

есть различия поведения системы при разных направлениях распространения энергии) и управление параметрами системы.

Дальнейшее продвижение по пути миниатюризации устройств СВЧ возможно при использовании длинноволновых когерентных спиновых волн (так называемых магнитостатических волн, МСВ) в ферритовых пленках. Такие волны были предсказаны и обнаружены в начале 60-х годов, с тех пор ведется их интенсивное исследование. Эти волны возбуждаются и принимаются с помощью узких металлических проводников (антенн), расположенных на поверхности пленки. Тип возбуждаемой волны определяется направлением постоянного магнитного поля. В частности, при магнитном поле, параллельном антенне, возбуждается поверхностная волна (волна Деймона-Эшбаха). Эта волна отличается тем, что она "прижимается" к одной или другой поверхности пленки в зависимости от направления постоянной намагниченности. Вследствие этого проводник, лежащий на поверхности пленки, возбуждает волну, распространяющуюся только в одном направлении. Такая невзаимность, а также одноодовость поверхностной волны (наличие только одного ее типа) приводит к тому, что она наиболее широко используется в ферритовых устройствах на основе магнитостатических волн.

Простейшими из этих устройств являются линии задержки - управляемые постоянным магнитным полем или дисперсионные (с задержкой, зависящей от частоты). Они необходимы для обработки сигналов в современных системах радиолокации и связи. Интерес к таким линиям задержки обусловлен тем, что скорость распространения спиновых волн значительно (на несколько порядков) меньше скорости распространения обычных электромагнитных волн в волноводах, и поэтому те же задержки могут быть достигнуты при значительно меньших размерах линии. При допустимых потерях такие линии позволяют получить время задержки, регулируемое в пределах приблизительно 0,01-1 мкс.

В результате интенсивных исследований были разработаны многие другие СВЧ-устройства на основе магнитостатических волн в ферритовых пленках, прежде всего перестраиваемые фильтры и генераторы, а также нелинейные устройства. Рассмотрим в качестве примера лишь одно упомянутое выше нелинейное устройство - подавитель слабых сигналов. При малой входной мощности ток в проводнике эффективно возбуждает поверхностную магнитостатическую волну, которая поглощается в пленке, так что мощность на выходе оказывается малой. При увеличении входной мощности вследствие параметрического возбуждения спиновых волн возбуждение магнитостатической волны становится менее эффективным и потери сигнала на выходе существенно уменьшаются.

Актуальным направлением в создании новых СВЧ ферритовых устройств является применение ферритов с большой магнитной кристаллографической анизотропией, например ферритов с гексагональной структурой, для создания устройств миллиметрового диапазона. Применение этих материалов вместо ферритов со структурами шпинели или граната, используемых при более низких частотах, позволяет снизить величины постоянных магнитных полей или даже совсем обойтись (в невзаимных устройствах) без внешнего магнитного поля. Наибольшая трудность заключается при этом в получении материалов с достаточно узкой линией ферромагнитного резонанса.

К новым направлениям относятся также использование в СВЧ-устройствах структур, состоящих из ферритовых и сверхпроводящих пленок. Открытие высокотемпературных сверхпроводников дает возможность создания устройств, работающих при температуре жидкого азота

Миниатюрный синхронизированный магнетронный усилитель (МСМ) выполнен на основе более простой комбинации автогенераторного магнетрона и ферритового циркулятора, разделяющего синхронизирующий входной и выходной сигналы.

Одним из путей, позволяющим успешно решать задачу миниатюризации, повышения качества и расширения функциональных возможностей приемо-передающих модулей (ППМ), является активное использование высокочастотных монолитно-интегральных схем (МИС).

Монолитно-интегральные приборы имеют преимущества перед другими технологиями изготовления аппаратуры СВЧ. Использование монолитных схем и соответствующих принципов проектирования: интеграция активных и пассивных компонент в составе одной микросхемы СВЧ (субмодуля), миниатюризация приборов и их отдельных компонентов, широкое использование принципа «базового проектирования» - создание универсальных устройств в виде субблоков - требует перехода на новый уровень разработки и проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) СВЧ. Одновременное изготовление пассивных компонентов и активных приборов в составе МИС СВЧ позволяет достичь максимально возможной плотности упаковки компонентов в составе модуля. При применении такой технологии производства возможно увеличение функциональных возможностей РЭА СВЧ, что является существенным для портативной и бортовой аппаратуры. Уменьшение габаритных размеров и веса отдельных компонентов и узлов позволяет создавать функционально насыщенные изделия, что значительно упрощает общую структуру прибора, расширяет область его применений, облегчает эксплуатацию и улучшает технические характеристики.

Одна из современных тенденций развития радиоэлектронной техники СВЧ диапазона - создание универсальных базовых структур, позволяющих использовать их во многих приборах широкого спектра применений. В этой связи представляется актуальной задача исследования и разработки базовых конструкций различных функциональных устройств - смесителей, фильтров, усилителей, фазовращателей и т.д. - позволяющих работать в полосе частот от октавы до декады. Применение новых материалов и современных технологий также требуют корректных методов точного расчета параметров электрических схем.

Освоение диапазонов СВЧ, КВЧ и квазиоптического происходит, в основном, за счет внедрения твердотельных устройств. При повышении рабочей частоты прибора начинают проявляться различные, не учитываемые в расчетах факторы. Возрастает погрешность в описании параметров элементов, труднее обеспечить точность механического изготовления деталей. Становится необходимым создание моделей элементов и устройств, позволяющих учитывать разброс параметров и взаимодействия по постоянному току, СВЧ и паразитным связям.

Сравнительная оценка различных технологий производства СВЧ приборов показывает, что устройства в монолитно-интегральном исполнении занимают примерно в 100 раз меньшую площадь по отношению, например, к аналогичным устройствам СВЧ на основе гибридно-интегральных схем (ГИС), наиболее распространенным в настоящее время. Нужно отметить, что при этом все компоненты МИС являются законченными устройствами, схемотехника которых подчиняется принципам функциональной интеграции.

Для некоторых типов СВЧ устройств минимизация размеров встречает определенные трудно-

сти. К ним относятся узлы на основе цепей с распределенными постоянными. Размеры этих устройств жестко привязаны к длине волны электромагнитного поля, распространяющегося в передающей линии (это, например, фильтры, направленные ответвители, делители мощности). В связи с этим представляет большой интерес возможность создания полосовых фильтров в микроисполнении, как наиболее востребованных и сложных в реализации элементов. В публикуемых материалах по разработке РЭА [1-4] этому вопросу не уделяется должного внимания.

На данном этапе развития техники СВЧ актуальна разработка новых способов построения, схем и методик расчета компонентов и устройств диапазона СВЧ: полосовых фильтров, защитных устройств, синтезаторов частот, - реализация которых в настоящее время в интегральном исполнении вызывает наибольшие затруднения, что позволит улучшить технические характеристики приемо-передающих модулей СВЧ диапазона и обеспечить их комплексную миниатюризацию.

### Литература

1. Фильтры для интегральных схем СВЧ Обзоры по электронной технике, сер. 1, Электроника СВЧ, 1979, вып. 3 (612). - 52 с.
2. Справочник по элементам полосковой техники / Под ред. А.Л. Фельдштейна. М.: Связь, 1979. - 336 с.
3. Электродинамика и распространение радиоволн Баскаков С.И. Высш.шк. 1992г. - 416с.
4. Pekka Kanqaslathi et al. Miniaturized artificial transmission line monolithic millimeter-wave frequency doubler. IEEE Transactions on MTT, v.48, №4, 2000.