

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С ПОДВЕШЕННОЙ ПОДЛОЖКОЙ ДЛЯ МИКРОПОЛОСКОВЫХ СВЧ УСТРОЙСТВ

проф.Елизаров А.А., асп.Закирова Э.А.

Московский государственный институт электроники и математики (технический университет)

Проведен анализ современных направлений разработки и проектирования печатных плат для микрополосковых СВЧ устройств. Предложена модификация многослойной печатной платы с подвешенной подложкой и диэлектрическим экраном. Показано, что использование такой конструкции платы позволяет обеспечить согласование ее диэлектрических слоев между собой с линейным уменьшением их волнового сопротивления от плоскости экрана к плоскости импедансных проводников, что позволяет избежать возникновения отраженной волны в поперечном сечении. Кроме того, в такой плате обеспечивается также согласование импедансных проводников с внешним воздушным пространством за счет использования многослойного диэлектрического экрана с линейно увеличивающимся волновым сопротивлением.

The analysis of modern directions of printed-circuit boards designing for microstrip microwave devices are shown. Upgrading of the multilayered printed-circuit board with the suspended substrate and the dielectric screen is offered. It is shown that use of such design of a board, allows to conform of its dielectric layers among themselves with linear reduction of their wave resistance from a screen plane to a plane of impedance conductors that allows to avoid occurrence of the reflected wave in cross-section. Besides, in such board to conform of impedance conductors with external air space at the expense of use multilayered dielectric screen with linearly increasing wave resistance is provided also.

Разработка современных микрополосковых СВЧ устройств требует создания многослойных печатных плат с заданными свойствами, обеспечивающими необходимое распределение электромагнитного поля в структуре и требуемые выходные параметры проектируемого устройства [1, 2].

Известные в настоящее время многослойные печатные платы содержат чередующиеся слои тонких изоляционных подложек с нанесенными на них проводящими рисунками, физически соединенными в одно многослойное основание. Каждый из внутренних слоев может представлять собой одностороннюю или двустороннюю плату с межслойными переходами. При этом основным направлением развития данных печатных плат является увеличение прецизионности и плотности компоновки высокоинтегрированной элементной базы, а свойствам и параметрам изоляционных подложек должного внимания не уделяется, что не позволяет эффективно использовать такие печатные платы в СВЧ диапазоне [1 -3].

Существующие новые решения по разработке и созданию печатных плат для микрополосковых СВЧ устройств направлены, прежде всего, на обеспечение целостности передачи сигнала. Так широко используются многослойные печатные платы с экранированными линиями передачи с минимальной шириной линии 0,7 мм и глубиной канавки 300...500 мкм, отличающиеся высокой помехозащищенностью (рис.1) [4].

Другим перспективным направлением проектирования печатных плат является применение встроенных в толщу платы пассивных сосредоточенных компонентов – резисторов, конденсаторов, индуктивностей, которые используются, например, для согласования микрополосковых линий или развязки трактов.

Приоритетным направлением является тенденция перехода от двумерной конструкции печатной платы к трехмерной. Несмотря на различные возможности реализации многослойных печатных плат, включая использование органических или мягких материалов и высокотемпературной керамики, наибольший интерес представляет метод низкотемпературного совместного обжига керамической подложки и схемы (LTCC) (рис.2). Однако и такой метод имеет свои недостатки. Во-первых, в процессе обжига происходит усадка керамики во всех трех измерениях, что затрудняет её последующую обработку, а также ограничивает размер как самой печатной платы, так и расположенных на ней компонентов. Во-вторых, часть модулей должны иметь теплоотвод, монтируемый после обжига [5].

Анализ основных тенденций развития проектирования многослойных печатных плат для микрополосковых СВЧ устройств позволяет сделать вывод, что особую роль практически во всех рассмотренных методах и технологиях играют используемые металлические и диэлектрические материалы и их конфигурации, которым в радиоволновом диапазоне часто не уделяется особого внимания. Так при выборе материала проводников необходимо оценивать потери на излучение и скин-эффект, а при выборе диэлектриков - учитывать, что при скорости передачи информации 1 Гбит/с и выше, тангенс угла диэлектрических потерь материала основания платы должен быть минимальным (не более 0,001). Кроме того, необходимо учитывать частотную дисперсию, которая на частотах гигагерцового диапазона начинает проявляться наряду с дисперсией диэлектрической проницаемости (пространственной дисперсией) материала, оказывая влияние на целостность передачи информативного сигнала.

Несмотря на представленное многообразие методов проектирования и конструкций, наиболее перспективными для различных СВЧ устройств и микрополосковых антенн являются печатные платы с подвешенными подложками [1-3]. Такие печатные платы содержат подвешенную подложку, состоящую из диэлектрического основания с высоким значением относительной диэлектрической проницаемости, с одной стороны которой расположены проводящие элементы, и воздушного зазора, отделяющего металлический экран

находящийся с другой стороны. Недостатком таких печатных плат является отсутствие согласования волновых сопротивлений диэлектрического основания подложки и воздушного зазора, приводящее к возникновению отраженной волны в поперечном сечении платы. Кроме того, при использовании печатной платы для микрополосковых антенн и излучателей необходимо обеспечивать согласование импедансных проводников с внешним воздушным пространством.



Рис.1. Экранированная линия передачи в составе печатной платы.

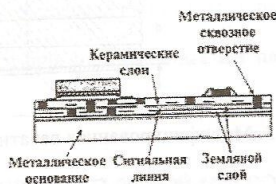


Рис.2 Поперечное сечение базовой односторонней LTCC-Мплаты.

В результате проведенного исследования предложена новая конструкция модифицированной печатной платы с подвешенной подложкой. Отличительной особенностью такой печатной платы является то, что диэлектрическая подложка выполняется многослойной, с числом слоев не менее трех, толщиной каждого слоя равной четверти рабочей длины волны и линейно уменьшающимся от плоскости экрана к плоскости импедансных проводников волновым сопротивлением. Печатная плата может также иметь с противоположной стороны импедансных проводников многослойный диэлектрический экран с числом слоев не менее трех, толщиной каждого слоя равной четверти рабочей длины волны и линейно возрастающим от плоскости импедансных проводников волновым сопротивлением.

Использование такой конструкции платы позволяет обеспечить согласование ее диэлектрических слоев между собой с линейным уменьшением их волнового сопротивления от плоскости экрана к плоскости импедансных проводников, что позволяет избежать возникновения отраженной волны в поперечном сечении. Кроме того, в такой плате обеспечивается также согласование импедансных проводников с внешним воздушным пространством за счет использования многослойного диэлектрического экрана с линейно увеличивающимся волновым сопротивлением.

Чертеж поперечного сечения модифицированной платы с подвешенной трехслойной подложкой толщиной d представлен на рис.3, а с подвешенной трехслойной подложкой толщиной d_1 и трехслойным согласующим диэлектрическим экраном толщиной d_2 - на рис.4. Относительные диэлектрические проницаемости слоев подложки и диэлектрического экрана линейно уменьшаются с ростом номера слоя. На рис.5 представлены графики зависимостей модуля коэффициента отражения от числа слоев для трехслойной подложки при $\epsilon_1 = 9,8; \epsilon_2 = 5,6; \epsilon_3 = 2,4$ и подвешенной подложки с воздушным зазором при $\epsilon_1 = 9,8; \epsilon_2 = 1,0$.

Рассмотрим далее физические особенности работы исследуемой модифицированной печатной платы с подвешенной подложкой. Известно, что волновое (характеристическое) сопротивление диэлектрического слоя определяется по формуле: $Z = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$, где μ, ϵ - относительные магнитная и диэлектрическая проницаемости слоя соответственно. Для воздушного зазора эта величина равна $120\pi \approx 377$ Ом. В большинстве случаев практического применения волновое сопротивление микрополоскового отрезка линии передачи должно составлять 50 или 75 Ом. При этом в поперечном сечении платы - прототипа наблюдается резкий скачок волнового сопротивления, приводящий к сильному отражению волны от границы раздела диэлектрического слоя с воздушным зазором.

В предлагаемом варианте печатной платы (рис.3) подложка выполнена трехслойной с равномерным уменьшением величины волнового сопротивления от плоскости экрана к плоскости импедансных проводников. При равенстве толщины каждого слоя четверти рабочей длины волны, для СВЧ устройства, выполненного на такой плате, в ее поперечном сечении амплитуда отраженной волны очень мала, что приводит к снижению потерь и повышению эффективности его работы.

При использовании исследуемой печатной платы для создания микрополосковых антенн и излучателей, их импедансные проводники, имеющие в большинстве случаев применения волновое сопротивление десятки Ом, необходимо согласовать с внешним воздушным пространством, имеющим сопротивление 377 Ом. Для этого в конструкцию платы введен многослойный диэлектрический экран с линейно увеличивающимся от плоскости импедансных проводников волновым сопротивлением (рис.4). При числе слоев согласующего экрана не менее трех и толщине каждого слоя равной четверти рабочей длины волны достигается выравнивание скачка волнового сопротивления, что обеспечивает повышение коэффициента излучения и расширение диаграммы направленности антенн и излучателей.

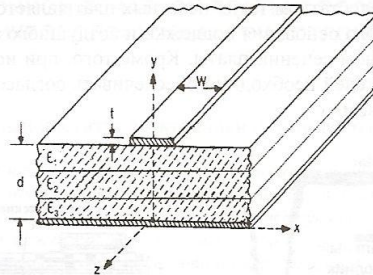


Рис. 3. Модифицированная печатная плата с подвешенной подложкой.

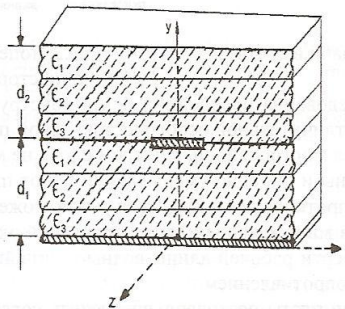


Рис. 4. Модифицированная печатная плата с подвешенной подложкой и согласующим диэлектрическим экраном.

Рассмотренные и исследованные физические эффекты подтверждаются результатами расчета и анализа зависимостей модуля коэффициента отражения от многослойной диэлектрической среды с линейно и скачкообразно изменяющимся значением относительной диэлектрической проницаемости.

Модуль коэффициента отражения $|\Gamma|$ для двух слоев диэлектрика с номерами 1 и 2 может быть рассчитан по формуле:

$$|\Gamma| = \left| \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right| = \left| \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \right|$$

и аналогично получен для любого числа слоев.

На рис.5 показаны зависимости модуля коэффициента отражения $|\Gamma|$ от числа слоев N для трехслойной модели печатной платы с линейным изменением относительной диэлектрической проницаемости ($\epsilon_1 = 9,8; \epsilon_2 = 5,6; \epsilon_3 = 2,4$) и двухслойной модели платы – прототипа с воздушным зазором, в которой волновое сопротивление меняется скачком ($\epsilon_1 = 9,8; \epsilon_2 = 1,0$). Из полученных графиков видно, что трехслойная модель отличается от прототипа почти вдвое меньшим и практически равномерным по сечению печатной платы модулем коэффициента отражения.

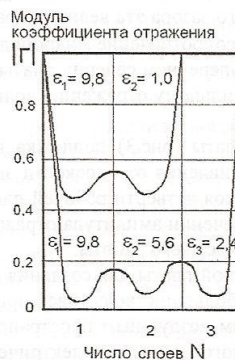


Рис. 5. Зависимость модуля коэффициента отражения от числа слоев

Достоинством предлагаемой модифицированной печатной платы с подвешенной подложкой и согласующим многослойным диэлектрическим экраном является возможность достижения более равномерного изменения волнового сопротивления в поперечном сечении при меньших потерях и критичности изменения относительной диэлектрической проницаемости подложки по сравнению с прототипом.

Литература

1. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – С. 13-21.
2. Медведев А.М. Печатные платы. Конструкции и материалы. М.: Техносфера, 2005. – С.22-25.
3. Электродинамический расчет характеристик полосковых антенн / Б.А.Панченко, С.Т.Князев и др. М.: Радио и связь, 2002. – С.75-93.
4. Tourne J. Micro-machining of Trenches to Form Shielded Transmission Lines. Printed Circuit Design&Manufacture. 2004, №4, p.34-37.
5. Калякина Т.М. Перспективная технология изготовления многослойных ВЧ плат. Зарубежная радиоэлектроника, 2000, №4, с.54-61.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ ТРАНСУРЕТРАЛЬНОЙ МИКРОВОЛНОВОЙ ТЕРМОТЕРАПИИ НА ОСНОВЕ ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ТИПА КОАКСИАЛЬНЫЙ РЕБРИСТЫЙ СТЕРЖЕНЬ

проф.Елизаров А.А., асп.Шаймарданов Р.В.

Московский государственный институт электроники и математики (технический университет)

Проведено исследование электрода для трансуретральной микроволновой термотерапии на основе замедляющей системы типа коаксиальный ребристый стержень. Получены аналитические соотношения, позволяющие осуществлять расчет ее дисперсионных характеристик и волнового сопротивления в зависимости от геометрических размеров образующих проводников и диэлектрического заполнения. Приведены результаты численного моделирования электрода с помощью программных средств Ansoft HFSS v.10. Дано качественное сравнение теоретических зависимостей и результатов физического эксперимента.

Research of an electrode for transurethral microwave thermotherapy on the basis of slow wave system of type a coaxial ridge core are shown. The analytical correlations are received, allowing to calculation of its dispersion characteristics and wave resistance depending on the geometrical sizes of forming conductors and dielectric filling. Results of numerical modeling of an electrode by means of software Ansoft HFSS v.10 are resulted. Qualitative comparison of theoretical dependences and results of physical experiment is given.

Резонансные отрезки коаксиальных линий широко используются для создания различных СВЧ устройств и их элементов – резонаторов, излучателей, шлейфов, согласующих устройств и др. Они просты по конструкции, а их волновое сопротивление однозначно и легко определяется отношением диаметров проводников линии и может изменяться в широких пределах [1]. Кроме того, геометрическая длина таких отрезков может быть уменьшена, если поверхность хотя бы одного из проводников коаксиальной линии сделать ребристой [2, 3]. Указанные электрофизические свойства позволяют использовать резонансный отрезок коаксиального ребристого стержня в качестве электрода для трансуретральной микроволновой термотерапии (ТУМТ).

В настоящее время наиболее часто применяется аппарат для микроволновой термотерапии «Ко Терм» шведской компании «ПросталундОперейшн АБ», состоящий из микроволнового генератора, блока управления, системы циркуляции, температурных датчиков и излучающего спирального электрода, встроенного в специальный катетер (рис.1). При использовании в медицинской практике такой спиральный широкополосный излучатель имеет ряд недостатков, наиболее значимым из которых является затрудненный отвод тепла, ограничивающий выходную мощность прибора, и приводящий к возможным ожогам тонких эпитаксиальных тканей внутренних органов.

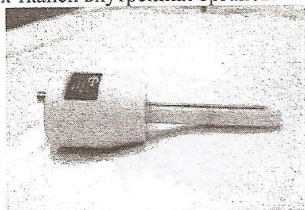


Рис.1. Внешний вид излучателя «Ко Терм».

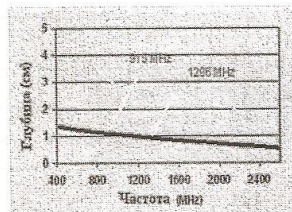


Рис.2. Глубина проникновения микроволнового излучения в зависимости от частоты.

Проведенные авторами теоретические и экспериментальные исследования показали перспективы использования для ТУМТ-терапии излучателей на основе замедляющих систем типа коаксиальный ребристый стержень с анизотропным экраном. Подобные излучатели имеют ряд следующих положительных особенностей: