

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА И СРЕДСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.372.85

Д.В. МАЙБОРОДА, канд. физ.-мат. наук

ДИСКОВАЯ МИКРОПОЛОСКОВАЯ АНТЕННА С ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Глобальное использование систем беспроводной связи обуславливает использование компактных, низкопрофильных антенн, к которым предъявляется комплекс достаточно жестких требований. Помимо уже традиционных требований для низкопрофильных антенн [1] актуальным становится требование многофункциональности таких устройств. Например, возможности работы как в многочастотном режиме, так и на фиксированной частоте. При этом необходимо учитывать и главную тенденцию развития современной радиоэлектроники СВЧ – микроминиатюризацию радиоэлектронной аппаратуры. Одним из возможных путей решения такого рода задач является использование микрополосковых антенн (МПА) [2, 3]. МПА, изготавливаемые по технологии интегральных схем, обеспечивают высокую повторяемость топологии и размеров, низкую стоимость, малую металлоемкость, малые габаритные размеры, массу и др. Кроме того, они способны излучать энергию практически с любым видом поляризации, допускают удобные конструктивные решения для обеспечения работы в двух- или многочастотных режимах, а также приемлемые конструктивные решения при интеграции с активными элементами.

Среди всех разновидностей МПА особое место занимают МПА с канонической топологией (прямоугольные, дисковые и др.). Каждое из технических решений имеет свои преимущества. Так, например, полосковые конструкции с прямоугольной топологией проводников имеют резонансные длины волн, пропорциональные $1/\sqrt{\epsilon_r}$ (ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость материала подложки), что позволяет использовать подложки с большими значениями ϵ_r и тем самым уменьшать геометрические размеры антенн на заданной частоте. Антенны с топологией проводников аксиально-симметричного типа (дисковые, кольцевые и их модификации) обладают двумя существенными преимуществами по сравнению с антеннами с прямоугольной топологией: они имеют более широкую рабочую полосу частот и возможность реализации излучения с эллиптической (круговой) поляризацией. Вместе с тем, конструкции с такой топологией имеют и существенный недостаток – это наличие вырожденных типов колебаний, которые затрудняют возбуждение структуры на определенном типе колебаний. Электродинамические характеристики кольцевых микрополосковых антенн меньше зависят от этого фактора, однако они имеют и более низкое значение добротности.

Известно несколько способов снятия вырождения собственных типов колебаний аксиально-симметричных структур, например введение в топологию структуры щелевых неоднородностей различной конфигурации [4, 5]. Использование этих методов лишь частично решают задачу о снятии вырождения и улучшения согласования структуры с внешними СВЧ цепями. Их определенным недостатком является кондуктивный способ возбуждения (снижается эффективность излучения по причине относительно слабой связи резонатора и возбуждающей цепи) и сравнительно небольшая длина излучающей апертуры. Представляется, что использование способа возбуждения с гальванической связью с микрополосковым резонатором позволит повысить эффективность возбуждения, а при определенном соотношении параметров структуры решить вопрос об эффективном согласовании с внешними цепями.

Цель данной работы – изучение электродинамических характеристик дискового микрополоскового резонатора со щелевой неоднородностью сложной топологии, основу которой составляет меандровая структура. Возбуждение структуры осуществлено с помощью отрезка коаксиальной линии.

Исследуемая структура

Будем рассматривать электродинамическую структуру, представляющую собой канонический дисковый микрополосковый резонатор, в топологию которого введено три неоднородности щелевого типа в виде меандровой линии. Схематическое изображение структуры представлено на рис. 1.

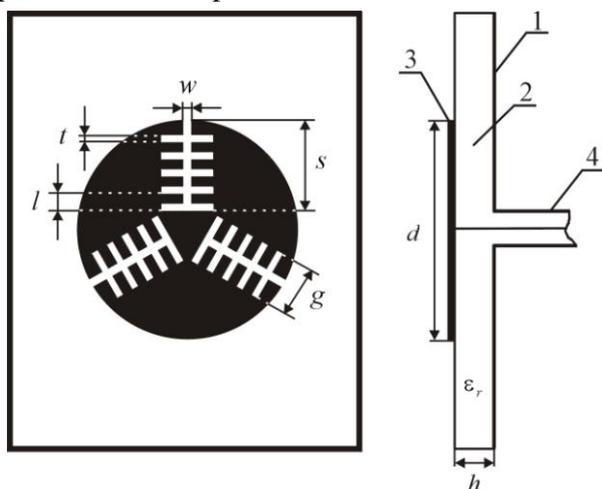


Рис. 1. Схематическое изображение структуры

На рисунке введены следующие обозначения: 1 – заземленное основание микрополоскового резонатора; 2 – диэлектрическая подложка; 3 – дисковый микрополосковый резонатор; 4 – возбуждающая коаксиальная линия. Отрезки меандровой линии с периодом l и длиной s расположены под углом 120° относительно друг друга.

Численное моделирование такого рода структур может быть осуществлено на основе широко используемой модели полуоткрытого резонатора, который образован двумя металлическими поверхностями (заземленное основание и собственно полосковый проводник), на которых выполняется условие электрической

стенки и цилиндрической поверхностью, перпендикулярной краю дискового проводника, на которой выполняется условие магнитной стенки. При моделировании обычно вводят предположение тонкой подложки $h \ll \lambda_{\text{двс}}$, где h – толщина подложки, $\lambda_{\text{двс}}$ – резонансная длина волны в резонаторе. При такого рода предположениях можно утверждать, что вектор электрического поля в резонаторе не будет иметь вариаций вдоль координаты, перпендикулярной плоскости структуры, а в резонаторе преобладающими типами колебаний будут колебания $E_{mn0}(TM_{mn0})$.

Для численного моделирования электродинамических характеристик структуры использован метод конечных элементов (МКЭ). Моделирование проводилось по такой же схеме как и в [6], в рассмотрение на первом этапе вводился возбуждающий коаксиал, а на втором – дополнительно щелевые неоднородности в виде отрезков меандровой линии. Использование МКЭ позволило создать достаточно эффективный алгоритм расчета собственных характеристик базового элемента – микрополоскового диска со щелевыми излучателями сложной формы и энергетических характеристик.

Результаты численного моделирования

Для выяснения характерных закономерностей взаимодействия спектра собственных колебаний канонического микрополоскового резонатора, возбуждаемого вспомогательным коаксиалом, и резонатора с выбранным типом неоднородностей проведен численный эксперимент, по результатам которого можно судить о влиянии щелевых неоднородностей на спектр резонансных частот микрополоскового резонатора. В качестве тестового объекта выбран резонатор со следующими параметрами: диаметр диска $d = 35$ мм, толщина подложки $h = 1$ мм, относительная диэлектрическая проницаемость подложки $\epsilon_r = 3,8$ (ФЛАН-3,8), $w = 1$ мм, $t = 1$ мм, $s = 1,49$ см, $g = 8$ мм, $l = 3$ мм. Сравнение осуществлялось со спектром колебаний канонического дискового микрополоскового резонатора с теми же геометриче-

скими размерами и материальными константами возбуждаемого отрезком коаксиала с тефлоновым заполнением ($\epsilon_r = 2,94$) и длиной 5 мм. Резонансная частота такого отрезка примерно равна 0,95 ГГц.

На рис. 2, *а* приведен спектр собственных колебаний E_{mn0} -типа для канонического дискового резонатора микрополоскового типа, возбуждаемого отрезком коаксиала, на рис. 2, *б* – спектр собственных колебаний для резонатора со щелевыми неоднородностями в виде меандровой линии. Сравнение спектральных характеристик свидетельствует о том, что введение щелевых неоднородностей приводит к существенному изменению в спектре возбуждаемых колебаний.

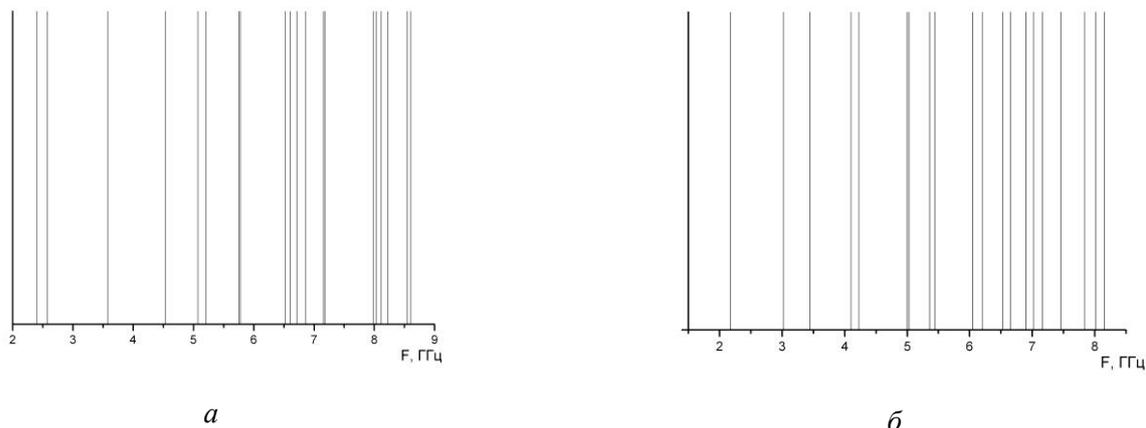


Рис. 2. Спектральные характеристики дискового резонатора

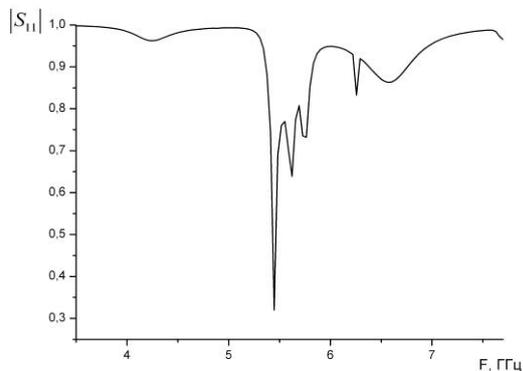


Рис. 3. Зависимость $|S_{11}|$ от частоты

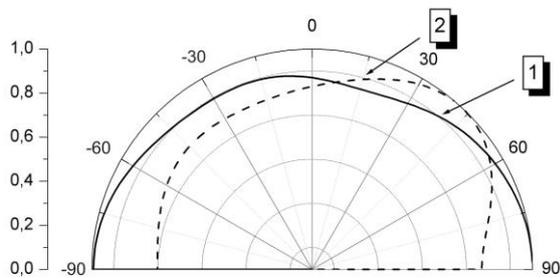


Рис. 4. Диаграммы направленности на частоте $f = 5,46$ ГГц

Так, в низкочастотной области спектра (диапазон от 2 до 5 ГГц) появляются две дополнительные спектральные линии, а в высокочастотной области спектра (диапазон от 5 до 8 ГГц) происходит существенное разрежение спектра собственных колебаний. На рис. 3 представлена зависимость $|S_{11}|$ от частоты в выбранном диапазоне частот. Сопоставление представленной зависимости и данных, представленных на рис. 2, *б*, позволяет делать прогноз о возможности эффективного излучения в интервале частот 5,44 – 5,48 ГГц. Так, на частоте $f = 5,46$ ГГц значение $|S_{11}|$ не превышает значения 0,32, что соответствует значению КСВН=1,9. Приведенная зависимость $|S_{11}|$ от частоты позволяет сделать вывод о том, что неоднородность с топологией в виде отрезка меандровой линии обеспечивает как разрежение спектра, так и позволяет решать вопрос согласования с внешними цепями.

Проведено численное моделирование энергетических характеристик такого рода

структур. На рис. 4 представлены две диаграммы направленности в угломестной плоскости на частоте $f = 5,46$ ГГц. Эта частота выбрана исходя из условия наилучшего согласования. Кривая 1 соответствует значению угла $\theta = 90^\circ$, а кривая 2 – углу $\theta = 0^\circ$. Обе кривые нормированы на глобальный максимум. Как очевидно, обе зависимости свидетельствуют о том, что обе диаграммы являются однолепестковыми, а вид диаграмм близок к круговому. Такой вид диаграмм удастся реализовывать благодаря аксиальному возбуждению структуры, при котором в формировании излучаемых полей участвуют все элементы апертуры. Использование кондуктивного способа возбуждения щелевых структур в аксиально-симметричных резонаторах [2 – 5] не позволяет вовлекать в процесс формирования излучаемых полей все элементы апертуры в одинаковой степени. Некоторое искажение формы диаграмм и наличие разности в амплитудах полей может быть объяснено наличием фазового набега в возбуждающем коаксиале, который в реальном устройстве может быть скомпенсирован известными способами.

Выводы

Таким образом, проведенное численное моделирование электродинамических характеристик плоскостной аксиально-симметричной структуры в виде дискового резонатора с набором неоднородностей щелевого типа, выполненных в виде отрезков меандровой линии, с использованием аксиального способа возбуждения показало определенные преимущества по сравнению с известными конструкциями того же класса. Во-первых, аксиальный способ возбуждения не требует проведения дополнительных исследований по подбору местоположения точки ввода энергии в резонатор (нет необходимости определения местоположения «фазовых центров» колебаний). Во-вторых, выполнение излучающей апертуры в виде структуры со сложной топологией позволяет решать комплекс задач, а именно: разрежение спектра собственных колебаний базового дискового резонатора, смещение рабочей частоты в более низкочастотную область и удовлетворительное согласование с внешними цепями. При этом удастся реализовать достаточно высокий уровень энергетических характеристик.

Список литературы: 1. *Kumar G., Ray K.P.* Broadband microstrip antennas. – New York, Artech House, 2003. 307 p. 2. *Katrich V.A., Mayboroda D.V., Pogarsky S.A., Saprykin I.I., Sukhov V.N.* The microstrip antenna // Proceedings of the 18-th Int. Crimean Conf. “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2008). Sevastopol, 2008, pp. 431-432. 3. *Katrich V.A., Mayboroda D.V., Pogarsky S.A., Saprykin I.I., Pshenichnaya S.V.* Radiating system on the basis of ring hybrid metal-dielectric structure // Proceedings of the 17-th Int. Crimean Conf. “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2007). Sevastopol, 2007, pp. 429-430. 4. *Mayboroda D.V., Pogarsky S.A., Saprykin I.I., Sukhov V.N., Drozdov K.S.* Multiresonators microstrip antenna // Proceedings of the 23-th Int. Crimean Conf. “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2013). Sevastopol, 2013, pp. 616-617. 5. *Mayboroda D.V., Pogarsky S.A., Saprykin I.I., Pshenichnaya S.V., Sharapov D.S.* Multiresonators microstrip antenna with complicated form of radiators // Proceedings of the 23-th Int. Crimean Conf. “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2013). Sevastopol, 2013, pp. 618-619. 6. *Mayboroda D.V., Pogarsky S.A.* On the choice of optimal topology of a reflecting module based upon the circular-disk microstrip structure // Telecommunication and Radioengineering, 2014, vol.73, issue 19, pp. 1713-1726.

Харьковский национальный университет
имени В.Н. Каразина

Поступила в редколлегию 03.03.2015