

Математическое моделирование управляемых частотно-селективных поверхностей

Д.Е. Шаронов, Т.М. Ишкаев

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань*

Аннотация: В статье рассматривается актуальность исследования новых покрытий, с возможностью управления их характеристиками. В начале статьи показан обзор имеющихся методов создания частотно-селективных поверхностей. Далее рассмотрены созданные управляемые частотно-селективные поверхности. Так же говорится о конструкции созданных поверхностей. В конце статьи приведен анализ полученных результатов по исследованию управляемых частотно-селективных поверхностей, сравнение с ранее полученными результатами

Ключевые слова: СВЧ, частотно-селективная поверхность, частотно-избирательная поверхность, управляемая частотно-селективная поверхность, управляемая частотно-избирательная поверхность, сравнение результатов.

На сегодняшний день в передающей и приемной технике все большее значение приобретают частотно-селективные поверхности. Данные структуры можно использовать, например, в качестве экранов, для решения электромагнитной совместимости.

В статье [1] предполагается использование частотно-селективной поверхности в качестве модуляторов в схемах обнаружения сигналов миллиметрового диапазона длин волн и в качестве радиочастотных фильтров в радиолокационных системах при масштабировании, чтобы работать в дециметровом диапазоне длин волн.

На рис. 1 рассмотрен отдельный кольцевой резонатор, в котором напряжение, подаваемое к затвору, используется для изменения зазора между контуром и неоднородностью, что в свою очередь позволяет эффективно перенастроить элемент частотно-селективной поверхности от открытого кольца до замкнутой геометрии контура (рис. 1а).



Рис. 1 - Раздельный кольцевой резонатор: а) с областью высокой подвижности электронов (HEMT) через зазор (Gate); б) с двумерным электронным газом (2deg)

Элементы частотно-селективной поверхности имеют размеры, примерно равные длине волны. В зависимости от размеров элементов зависит резонансная длина волны.

Идея, предложенная в данной статье, интересна в качестве частотно-селективной поверхности которая не имеет перестройки по частоте, так как управление множеством подобных элементов является очень сложным как в проектировании, так и в реализации.

В работе [2] рассмотрено две конфигурации частотно-селективных поверхностей. Первая – два передатчика/два рефлектора; вторая – один передатчик/три рефлектора.

Первая частотно-селективная поверхность является двухдиапазонной частотно-селективного экрана с двойным квадратным контуром или двойным кольцом (рис. 2а, рис. 2б). Вторая частотно-селективная поверхность является однополосной (рис. 2в).

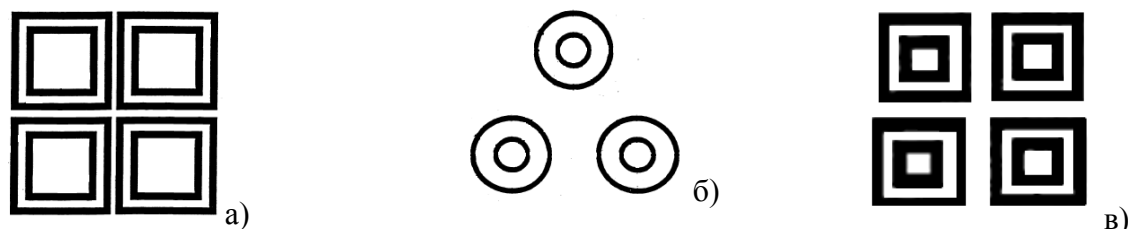


Рис. 2 – а) Двухполосная ЧСП/двухдиапазонная ЧСП; б) Двухполосная ЧСП/двухдиапазонная ЧСП; в) Структура с одним передатчиком/тремя рефлекторами

При использовании данных частотно-селективных поверхностей не представляется возможным перестройка по рабочей частоте, так что в наших дальнейших исследованиях она не интересна.

В работе [3] частотно-селективные поверхности состоят из металлических экранов с периодической перфорацией (рис. 3а). Данные частотно-селективные поверхности работают в гигагерцовом и терагерцовом частотных диапазонах. Форма отверстий, их размер и расстояние между ними, а также толщина металлических экранов определяет рабочую частоту.

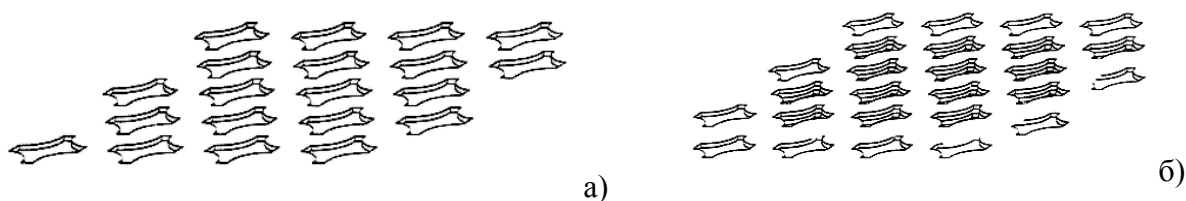


Рис. 3 – а) ЧСП с периодической перфорацией; б) Многослойная ЧСП

В большинстве случаев, из-за простоты электромагнитного моделирования, отверстия имеют форму прямоугольника или круга. При этом более сложные формы могут дать лучшие характеристики (кресты, Иерусалимские кресты, кольца и квадратные петли).

Частотно-селективные поверхности могут состоять из нескольких слоев, такие ЧСП называются многослойными. Многослойная ЧСП состоит из двух или более перфорированных слоев, которые сложены определенным образом (рис. 3б). Данная конфигурация обеспечивает большой охват частот, а также лучший контроль за отражением и полосой пропускания.

Иногда металлические пластины перфорированы ступенчатыми отверстиями. Они используются для радиоастрономии. Ее особенность в дополнительном фильтрующем эффекте ступенчатой апертуры.

Способы формирования ЧСП зависят от размеров структуры и от рабочей частоты. Существует множество различных подходов, таких как

фрезерование, лазерная резка, водоструйная резка, химическое травление и гальванизирование.

Конструкции ЧСП, приведенные в данной статье, являются интересными в дальнейших рассмотрениях проектирования частотно-селективных поверхностей. Перестройка по частоте не возможна. При этом за счет многослойной структуры возможно перекрыть некий диапазон частот разными слоями.

Так же существуют другие типы ЧСП, например, однослойная емкостная ЧСП. Она представляет собой однослойную структуру, которая состоит из множества металлических полосок на одной стороне диэлектрической подложки. Данная структура работает как фильтр, при резонансной длине данных полосок относительно длины волны. Резонансная длина волны зависит от формы данных полосок, диэлектрической проницаемости и толщины. Также резонансная длина волны сдвигается вверх при повышении диэлектрической проницаемости подложки, так как размер полосок с точки зрения длины волны увеличивается.

Нами было спроектировано и создано несколько виртуальных моделей однослойной ЧСП. ЧСП созданы на базе листа фторопласта, в который мы внедряли полоски из меди толщиной 0,05 мм, шириной 2 мм и длиной $\lambda/4$, $\lambda/8$. Полоски в листе фторопласта располагались в виде сетки, т.е. и горизонтально и вертикально.

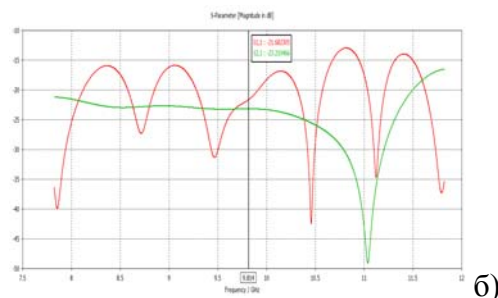
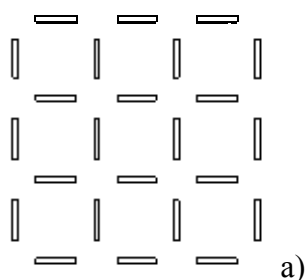


Рис. 4 – а) Расположение полосков в листе фторопласта; б) Коэффициенты передачи и отражения через ЧСП (S_{11} -21,6dB, S_{21} -23,2dB)

Управление ЧСП происходит с помощью PIN – диодов за счет изменения электрической длины полоска. Полоски длиной $\lambda/8$ попарно соединялись тонкими проводниками чтобы добиться эффективности полосков $\lambda/4$. Полученные данные были приближены к результатам с полосками длиной $\lambda/4$. Расположение полосков в листе фторопласта и полученные коэффициенты передачи и отражения представлены на рис. 5

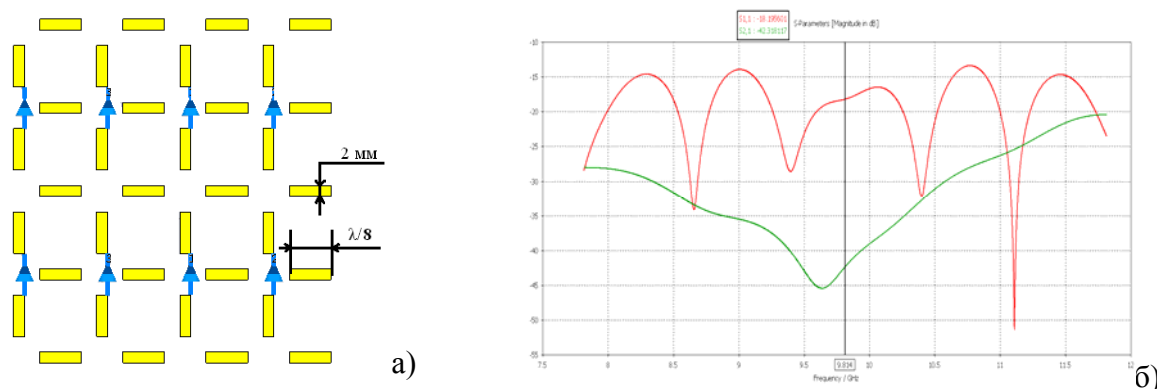


Рис. 5 – а) Расположение полосков в листе фторопласта; б) Коэффициенты передачи и отражения через ЧСП (S11 -18,2dB, S21 -42,3dB)

В ходе исследования характеристик частотно-селективной поверхности, управляемой СВЧ-диодами показано, что коэффициенты отражения и передачи составили -18,2 дБ и -42,3 дБ соответственно. Отметим, что активно развивается терминология в области радиотехники и инфокоммуникационных технологий. Этот процесс неразрывно связан с заимствованиями терминов и языковым обменом при осуществлении научных обменов и контактов. Этому посвящены работы [9-12].

Литература

1. Walter R. Buchwald, Joshua Hendricksonc, Justin W. Clearyc, Junpeng Guod, Thomas George; M. Saif Islam; Achyut K. Dutta Active frequency selective surfaces // Micro- and Nanotechnology Sensors, Systems, and Applications V. 2013. pp. 50-58.

2. Te-Kao Wu Multiband frequency selective surface // Part of the SPIE Conference on Optical Analogies in Microwave/Millimeter-Wave Design. 1998. pp. 174-182.

3. Maurizio Bozzi, Luca Perregrini, R. Jennifer Hwu, Ke Wu Frequency Selective Surfaces in the GHz and THz Region // Analysis and Experimental Results. Terahertz and Gigahertz Electronics and Photonics II. 2000. pp. 141-151.

4. Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е. Анализ характеристик управляемой частотно-селективной поверхности в СВЧ диапазоне // Инженерный вестник Дона, 2017, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4233

5. Шурховецкий А.Н. Многоканальная частотно-избирательная система СВЧ диапазона на основе направленных фильтров бегущей волны // Инженерный вестник Дона, 2010, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2010/292

6. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е., Насыбуллин А.Р. Фокусировка электромагнитного излучения в диссипативной среде // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2017. №3. С. 61-68.

7. Веденькин Д.А., Насыбуллин А.Р., Седельников Ю.Е. Случайные разреженные когерентные антенные решётки, сфокусированные в зоне ближнего излученного поля // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. №4. С. 22-29.

8. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е., Насыбуллин А.Р., Рябова Н.В., Иванов В.А. Свойства объемных случайных антенных решеток, сфокусированных в зоне ближнего излученного поля // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2015. №12. С. 30-34.



9. Яхина Р.Р. Функционально-семантическое усвоение терминов английского происхождения: процесс деэтимологизации // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 3 (203). С. 49-53.

10. Яхина Р.Р., Залалтдинова Р.Р. Англоязычная терминология: процесс заимствования и ассимиляции // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2017. №12-4 (78). С. 190-193.

11. Яхина Р.Р. Образование англицизмов в современном русском языке // Современные исследования социальных проблем. 2011. Т.8. №4.1. С.537-542.

12. Novikova S.V., Sosnovsky S.A., Yakhina R.R., Valitova N.L., Kremleva E.Sh. The specific aspects of designing computer-based tutors for future engineers in numerical methods studying // Интеграция образования. 2017. Т. 21. № 2 (87). С. 322-343.

References

1. Walter R. Buchwald, Joshua Hendrickson, Justin W. Cleary, Micro- and Nanotechnology Sensors, Systems, and Applications V. 2013. pp. 50-58.

2. Te-Kao Wu Part of the SPIE Conference on Optical Analogies in Microwave/Millimeter-Wave Design. 1998. pp. 174-182.

3. Maurizio Bozzi, Luca Perregini, R. Jennifer Hwu, Ke Wu Analysis and Experimental Results. Terahertz and Gigahertz Electronics and Photonics II. 2000. pp. 141-151.

4. Veden'kin D.A., Sharonov D.E. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4233

5. Shurkhovetskij A.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2010, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2010/292

6. Veden'kin D.A., Sedel'nikov YU.E. Nasybullin A.R. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy. 2017. №3. pp. 61-68.



7. Veden'kin D.A., Nasybullin A.R., Sedel'nikov YU.E. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy. 2016. №4. pp. 22-29.

8. Veden'kin D.A., Sedel'nikov YU.E., Nasybullin A.R., Ryabova N.V., Ivanov V.A. Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennyye i tekhnicheskie nauki. 2015. №12. pp. 30-34.

9. Jahina R.R. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2017. № 3 (203). pp. 49-53.

10. Jahina R.R., Zalaltdinova R.R. Filologicheskie nauki. Voprosy teorii i praktiki. 2017. №12-4 (78). pp. 190-193.

11. Jahina R.R. Sovremennye issledovaniya social'nyh problem. 2011. T.8. №4.1. pp.537-542.

12. Novikova S.V., Sosnovsky S.A., Yakhina R.R., Valitova N.L., Kremleva E.Sh. Integracija obrazovaniya. 2017. T. 21. № 2 (87). pp. 322-343.