
A CONCEPT OF PROJECT MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM TO IMPROVE THE ALLOCATION OF IT COMPANY WORKFORCES

Dijazitdinova A.R., Koltcova V.A.

In this paper there is proposed a new concept of project management information system (PMIS) introduced to improve the efficiency of IT company performance. According to the results of full-filled analysis the problem of labor forces management is the most complex and critical for a success of IT company business. To solve this problem it is proposed to implement fuzzy logic.

Keywords: project management, IT company, project management information system, fuzzy logic.

Диязитдинова Альфия Радмировна, к.т.н., доцент Кафедры экономических и информационных систем (ЭИС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-917-942-57-45. E-mail: dijazitdinova@mail.ru

Кольцова Валерия Александровна, аспирант Кафедры ЭИС ПГУТИ, аналитик компании ООО «ЦКИТ ИНФОПРО». Тел. 8-927-002-49-25. E-mail: kolcova_lera@mail.ru

ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

УДК 537.876.23

КИРАЛЬНЫЙ МЕТАМАТЕРИАЛ ДЛЯ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭНЕРГИИ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Осинов О.В., Почепцов А.О., Юрасов В.И.

Проведен электродинамический анализ метаматериала, сформированного путем периодического размещения тонкопроволочных многовитковых спиральных элементов в однородном диэлектрическом контейнере. Решена задача об отражении плоской электромагнитной волны от указанного метаматериала и определены коэффициенты отражения и прохождения основной и кросс-поляризованной компонент поля. Доказано, что метаматериал позволяет преобразовывать радиально падающее сверхвысокочастотное (СВЧ) излучение на резонансной частоте в поверхностные волны. Рассчитаны частотные зависимости модулей коэффициентов отражения и прохождения основной и кросс-поляризованной компонент поля при различных геометрических размерах контейнера и спиральных включений. Показано, что резонансные частоты преобразования падающего поля в поверхностные волны подчиняются соотношению, аналогичному условию Вульфа-Брэгга для кристаллической среды.

Ключевые слова: киральная среда, метаматериал, энергосбережение, малоотражающее покрытие, защитное покрытие, оптимизация.

Введение

В настоящее время идет активное развитие новых технологий энергосбережения. Одним из способов экономии электрической энергии является создание устройств, концентрирующих

энергию различного происхождения с целью дальнейшего преобразования в электрический ток. Наиболее известными являются структуры для преобразования электромагнитной энергии оптического диапазона (например, солнечные батареи). Однако современный этап развития инфокоммуникационных технологий связан с активным использованием электромагнитных волн СВЧ-диапазона для передачи информации (технологии GSM, WiFi, LTE и т.д.). В связи с этим вновь возникает значительный интерес к разработке концентраторов электромагнитной энергии СВЧ-диапазона.

В отличие от аналогичных структур оптического диапазона, где преобразование энергии происходит напрямую, в случае СВЧ принципиальным является наличие концентратора (коллектора) электромагнитной энергии. Большинство известных решений создания коллекторов СВЧ-энергии базируется на использовании рефлекторов (зеркал), концентрирующих поле в своем фокусе [1-3]. Однако указанные и многие другие решения обладают рядом существенных недостатков, большинство из которых связано с большой массой и размерами концентрирующих энергию структур, невозможностью их компактного размещения на поверхности и т.п. В связи с этим возникает задача построения концентраторов СВЧ-энергии, принцип работ которых не

основан на фокусировке СВЧ-энергии при помощи металлических рефлекторов.

В настоящее время активно проводятся теоретические и экспериментальные исследования метаматериалов, то есть композиционных искусственных структур, создаваемых на основе как минимум двух материалов. Подобные структуры проявляют весьма разнообразные свойства в СВЧ-диапазоне [4]. Обычно метаматериал состоит из контейнера, в котором периодически размещаются тонкопроволочные элементы какой-либо формы. Интерес представляет создание метаматериала, позволяющего на заданной частоте концентрировать электромагнитную энергию, поступающую из внешнего пространства вблизи своей поверхности или внутри себя. В [5] предложено использовать в качестве такой структуры метаматериал на основе элементов Телледжена, то есть разомкнутых колец с выступающими концами. Однако такие элементы с технологической точки зрения не являются оптимальным вариантом, так как их достаточно сложно располагать в контейнере. В данной работе проведен анализ отражения плоской электромагнитной волны СВЧ-диапазона от плоского бесконечного слоя метаматериала, состоящего из диэлектрического контейнера, в котором периодически размещены тонкопроволочные элементы в виде многовитковых спиралей. В силу зеркальной асимметрии используемых элементов такую структуру можно назвать киральным метаматериалом.

Задача об отражении волны от исследуемого метаматериала

Рассмотрим задачу об определении коэффициентов отражения и прохождения при падении плоской электромагнитной волны на планарный слой кирального метаматериала, который является бесконечно протяженным вдоль оси Oz . Геометрия задачи приведена на рис. 1. Пусть на киральную структуру из диэлектрической области 1 (ϵ_1 и μ_1 – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости) под углом θ падает плоская электромагнитная волна линейной поляризации (в статье рассмотрен случай падения волны с перпендикулярной поляризацией).

Область 2 на рис. 1 представляет собой слой кирального метаматериала толщиной h (ϵ_2 и μ_2 – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости; χ_2 – параметр киральности). Частотные зависимости материальных параметров ϵ_2 и χ_2 определяются типом резонансных элементов. Киральный метаматериал состоит из многовитковых тонкопроволочных спиралей, намотан-

ных на диэлектрические цилиндрические оправки, которые равномерно размещены в планарном контейнере (см. рис. 2). Спиральный элемент описывается следующими геометрическими параметрами: N – число витков; R – радиус витка спирали; h – шаг спирали; l – длина спирали в расправленном состоянии; r – радиус проволоки. Спиральные элементы равномерно расположены в контейнере на расстоянии d друг от друга. На рис. 2 для примера показан случай спирального элемента, состоящего из одного витка. Область 3 на рис. 1 является диэлектрической (ϵ_3 и μ_3 – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости).

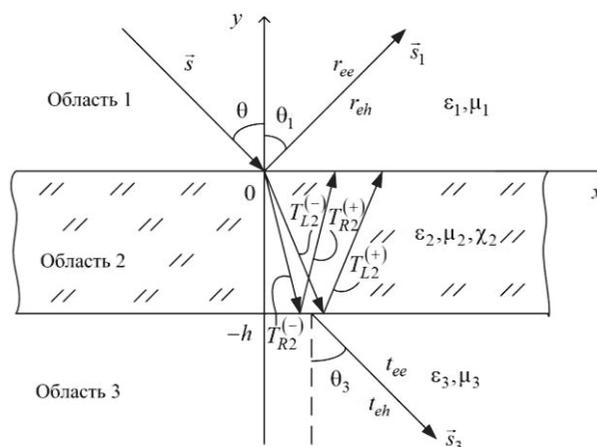


Рис. 1. Геометрия задачи

Задача состоит в получении соотношений для расчета коэффициентов отражения основной (r_{ee}) и кросс-поляризованной (r_{eh}) компонент поля в области 1, а также формул для коэффициентов прохождения основной (t_{ee}) и кросс-поляризованной (t_{eh}) компонент поля в области 3. Здесь уместно отметить, что при взаимодействии падающего СВЧ излучения с киральной средой всегда возникает явление кросс-поляризации [6-8], то есть в структуре отраженной и прошедшей волн возникают компоненты поля, ортогональные к компонентам падающей волны.

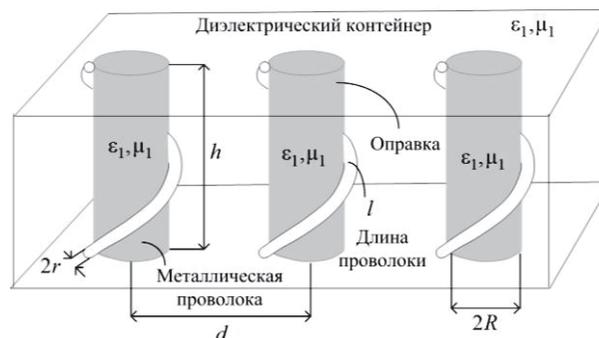


Рис. 2. Геометрия слоя кирального метаматериала

Киральная среда описывается в общем случае материальными уравнениями, одновременно связывающими между собой индукции и напряженности электрического и магнитного полей [6-7; 9]:

$$\begin{aligned}\vec{D} &= \varepsilon_2(\omega)\vec{E} \mp i\chi_2(\omega)\vec{H}, \\ \vec{B} &= \mu_2\vec{H} \pm i\chi_2(\omega)\vec{E},\end{aligned}\quad (1)$$

где верхние и нижние знаки соответствуют спиральным элементам с право- и левовинтовыми закрутками, соответственно. Материальные уравнения (1) записаны в Гауссовой системе единиц.

Частотные зависимости параметров кирального метаматериала определяются из следующих соотношений [10]:

$$\begin{aligned}\varepsilon_2(\omega) &= \varepsilon_{2c} + \frac{\beta_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2}; \\ \chi_2(\omega) &= A \frac{\beta_0^2 \omega}{c(\omega_0^2 - \omega^2)},\end{aligned}\quad (2)$$

где ε_{2c} – относительная диэлектрическая проницаемость контейнера; ω_0 – резонансная частота; $A = 2R$ – параметр, определяющий линейный размер спиральных включений, и β_0^2 – концентрация элементов; c – скорость света.

Для расчета резонансной частоты ω_0 можно воспользоваться классическим методом. Спиральный элемент замещается эквивалентной низкочастотной схемой, содержащей емкость (сумма межвитковой и межэлементной емкостей, а также емкости тонкой металлической проволоки) и индуктивность проводника, закрученного в спираль. В частности, для емкости и индуктивности спирали получены следующие выражения:

$$\begin{aligned}C &= \varepsilon_{2c} \frac{l}{18 \ln\left(\frac{2l}{r}\right) - 1} \cdot 10^{-11} + \\ &+ \frac{\varepsilon_{2c} \pi [(R + 2r)^2 - R^2] (N^2 - 1)}{h} + \\ &+ \frac{\varepsilon_{2c} r N (R + r)}{A \cos\left[\frac{\pi}{2(N + 1)}\right]}; \\ L &= \mu_2 \frac{\pi N^2 R^2}{l}.\end{aligned}\quad (3)$$

Резонансная частота тонкопроволочного элемента в виде многовитковой спирали определяется по формуле Томсона:

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}, \quad (4)$$

где L и C определяются соотношениями (3). Нормальными волнами кирального метаматериала являются волны с право-(ПКП) и левокруговыми (ЛКП) поляризациями, обладающие различными постоянными распространения [6-9]:

$$k_{R,L}(\omega) = \frac{\omega}{c} \left[\sqrt{\varepsilon_2(\omega)\mu_2} \pm \chi_2(\omega) \right], \quad (5)$$

где зависимости $\varepsilon_2(\omega)$ и $\chi_2(\omega)$ определяются дисперсионными соотношениями (2) с учетом выражения для резонансной частоты (4).

На рис. 3 приведен типичный вид частотных зависимостей действительных частей постоянных распространения нормальных волн $k_{R,L}$ исследуемого кирального метаматериала. Из рис. 3 видно, что волны с право- и левокруговыми поляризациями испытывают явление бифуркации дисперсионных характеристик, причем степень дуплетного расщепления значительно выше вблизи резонансной частоты.

Кроме того, можно отметить, что на частотах ниже резонансной фазовая скорость у волны ЛКП больше, чем у ПКП, а выше резонансной частоты – характер изменяется на противоположный. При расчете считалось, что метаматериал образован спиралью с закрутками по часовой стрелке. Расчет был выполнен при следующих значениях геометрических размеров структуры: $R = 0,01$ м; $N = 3$; $h = 0,05$ м; $d = 0,05$ м.

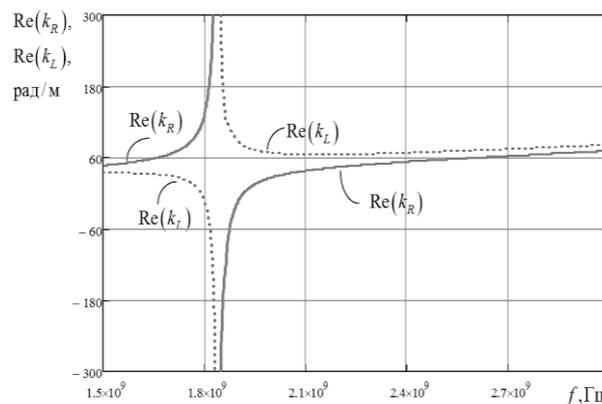


Рис. 3. Дисперсионные характеристики нормальных волн в метаматериале

На следующем этапе решения задачи методом частичных областей решалась задача об определении неизвестных коэффициентов отражения и прохождения для метаматериала на основе многовитковых тонкопроволочных спиралей. Электромагнитное поле в киральном слое опре-

делялось из системы двух связанных дифференциальных уравнений второго порядка [8]:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \vec{E} + k_0^2 (\varepsilon_2 \mu_2 + \chi_2^2) \vec{E} - 2ik_0^2 \mu_2 \chi_2 \vec{H} &= 0; \\ \nabla^2 \vec{H} + k_0^2 (\varepsilon_2 \mu_2 + \chi_2^2) \vec{H} + 2ik_0^2 \varepsilon_2 \chi_2 \vec{E} &= 0, \end{aligned} \quad (6)$$

где $k_0 = \omega/c$ – волновое число для плоской однородной волны в вакууме.

Система уравнений (6) при помощи стандартного представления [6-7]

$$\vec{E} = \vec{E}_R + \vec{E}_L; \quad \vec{H} = i \sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\mu_2}} (\vec{E}_R - \vec{E}_L), \quad (7)$$

где \vec{E}_R – напряженность электрического поля волны ПКП; \vec{E}_L – напряженность электрического поля волны ЛКП была сведена к двум однородным уравнениям Гельмгольца для волн ПКП и ЛКП в киральной среде:

$$\nabla^2 \vec{E}_{R,L} \pm k_{R,L}^2 \vec{E}_{R,L} = 0, \quad (8)$$

где волновые числа для волн ПКП и ЛКП в безграничной киральной среде, определяемые соотношениями (5).

Из решения уравнений (8) с использованием представлений (7) для продольных составляющих векторов поля в киральном слое были получены следующие выражения [8]:

$$\begin{aligned} E_z^{(2)} &= T_R^{(-)} e^{-ik_R(\vec{s}_R, \vec{r})} + T_R^{(+)} e^{ik_R(\vec{s}_R, \vec{r})} + \\ &+ T_L^{(-)} e^{-ik_L(\vec{s}_L, \vec{r})} + T_L^{(+)} e^{ik_L(\vec{s}_L, \vec{r})}; \\ H_z^{(2)} &= \frac{i}{\eta_2} \left[T_R^{(-)} e^{-ik_R(\vec{s}_R, \vec{r})} + T_R^{(+)} e^{ik_R(\vec{s}_R, \vec{r})} - \right. \\ &\left. - T_L^{(-)} e^{-ik_L(\vec{s}_L, \vec{r})} - T_L^{(+)} e^{ik_L(\vec{s}_L, \vec{r})} \right], \end{aligned} \quad (9)$$

где $\vec{s}_{R,L}^{(-)} = \{\sin \theta_{R,L}, -\cos \theta_{R,L}\}$ – единичные вектора, вдоль которых распространяются преломленные волны; $\vec{s}_{R,L}^{(+)} = \{\sin \theta_{R,L}, \cos \theta_{R,L}\}$ – единичные вектора, вдоль которых распространяются волны, отраженные от области 3; $\theta_{R,L}$ – углы преломления волн ПКП и ЛКП, соответственно; $\eta^{(2)} = \sqrt{\mu_2/\varepsilon_2}$ – импеданс кирального метаматериала; $T_R^{(-)}$ и $T_L^{(-)}$ – коэффициенты прохождения (по полю) волн ПКП и ЛКП в область 2; $T_R^{(+)}$ и $T_L^{(+)}$ – коэффициенты отражения (по полю) волн ПКП и ЛКП от области 3 в киральный слой.

Явные выражения для всех тангенциальных составляющих векторов $\vec{E}^{(2)}$ и $\vec{H}^{(2)}$ в киральной среде приведены в [8].

Для случая падения плоской электромагнитной волны с перпендикулярной поляризацией для составляющих поля в области 1 справедливы следующие выражения:

$$\begin{aligned} E_z^{(1)} &= e^{-ik_1(\vec{s}, \vec{r})} + r_{ee} e^{-ik_1(\vec{s}, \vec{r})}; \\ H_x^{(1)} &= -\frac{\cos \theta}{\eta^{(1)}} e^{-ik_1(\vec{s}, \vec{r})} + \\ &+ r_{ee} \frac{\cos \theta}{\eta^{(1)}} e^{-ik_1(\vec{s}, \vec{r})}; \\ H_z^{(1)} &= r_{eh} e^{-ik_1(\vec{s}, \vec{r})}, \\ E_x^{(1)} &= -r_{eh} \eta^{(1)} \cos \theta e^{-ik_1(\vec{s}, \vec{r})}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $\vec{s}_r = \{\sin \theta, \cos \theta\}$ – единичный вектор, определяющий направление распространения отраженной волны; r_{ee} – коэффициент отражения (по полю) основной компоненты; r_{eh} – коэффициент отражения (по полю) кросс-поляризованной компоненты; $k_1 = k_0 \sqrt{\varepsilon_1 \mu_1}$ – волновое число для плоской однородной волны в области 1. При решении задачи предполагается, что на киральный слой падает волна с единичной амплитудой напряженности электрического поля; $\eta^{(1)} = \sqrt{\mu_1/\varepsilon_1}$ – импеданс области 1.

Для составляющих векторов электромагнитного поля в области 3 с учетом кросс-поляризации можно записать следующие выражения:

$$\begin{aligned} E_z^{(3)} &= t_{ee} e^{-ik_3(\vec{s}_3, \vec{r})}; \\ H_z^{(3)} &= t_{eh} e^{-ik_3(\vec{s}_3, \vec{r})}; \\ E_x^{(3)} &= t_{eh} \eta^{(3)} \cos \theta_3 e^{-ik_3(\vec{s}_3, \vec{r})}; \\ H_x^{(3)} &= -t_{ee} \frac{\cos \theta_3}{\eta^{(3)}} e^{-ik_3(\vec{s}_3, \vec{r})}; \end{aligned} \quad (11)$$

где $\vec{s}_3 = \{\sin \theta_3, -\cos \theta_3\}$ – единичный вектор, определяющий направление распространения прошедшей волны; t_{ee} – коэффициент прохождения (по полю) основной компоненты; t_{eh} – коэффициент прохождения (по полю) кросс-поляризованной компоненты; $\eta^{(3)} = \sqrt{\mu_3/\varepsilon_3}$ – импеданс области 3; $k_3 = k_0 \sqrt{\varepsilon_3 \mu_3}$ – волновое число для плоской однородной волны в области 3.

На последнем этапе решения задачи были использованы граничные условия при $y=0$ и $y=-h$ вида

$$\begin{aligned}
 \vec{E}_\tau^{(1)}(y=0) &= \vec{E}_\tau^{(2)}(y=0); \\
 \vec{H}_\tau^{(1)}(y=0) &= \vec{H}_\tau^{(2)}(y=0); \\
 \vec{E}_\tau^{(2)}(y=-h) &= \vec{E}_\tau^{(3)}(y=-h); \\
 \vec{H}_\tau^{(2)}(y=-h) &= \vec{H}_\tau^{(3)}(y=-h).
 \end{aligned}
 \quad (12)$$

В результате подстановки (9)-(11) в граничные условия (12) относительно неизвестных коэффициентов отражения и прохождения получаем неоднородную систему линейных алгебраических уравнений вида:

$$\vec{A}\vec{T} = \vec{P}, \quad (13)$$

где \vec{A} – квадратная матрица размером 8×8 , явный вид элементов которой в статье не приводится в силу их громоздкости;

$$\vec{T} = \begin{bmatrix} r_{ee} & r_{eh} & T_R^{(+)} & T_R^{(-)} & T_L^{(+)} & T_L^{(-)} & t_{ee} & t_{eh} \end{bmatrix}; \\
 \vec{P} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & \cos\theta_1/\eta^{(1)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Коэффициенты матрицы \vec{A} определяются геометрическими параметрами контейнера и спиральных элементов; материальными параметрами кирального слоя и областей 1 и 3, а также учитывают дисперсию $\varepsilon_2(\omega)$ и $\chi_2(\omega)$ и, как следствие, форму включений. Аналогичным образом рассматривается случай падения волны с параллельной поляризацией, и решение задачи сводится к СЛАУ типа (13) с другими коэффициентами матрицы \vec{A} и вектор-столбцом \vec{P} .

Анализ численных результатов

При анализе численных характеристик основной интерес представлял расчет частотных зависимостей отраженной ($10 \lg|r_{ee}|^2$ и $10 \lg|r_{eh}|^2$) и прошедшей ($10 \lg|t_{ee}|^2$ и $10 \lg|t_{eh}|^2$) мощностей в дБ. Контейнер моделировался на основе пенополистирола С-35 с относительной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 1,5$.

На рис. 4 представлены частотные зависимости отраженной и прошедшей мощностей основной и кросс-поляризованной компонент поля в диапазоне от 1 до 3 ГГц. Сплошные линии на рис. 4 соответствуют прошедшей мощности основной компоненты ($10 \lg|t_{ee}|^2$); штриховые – отраженной мощности основной компоненты ($10 \lg|r_{ee}|^2$); штрихпунктирные – прошедшей мощности кросс-поляризованной компоненты ($10 \lg|t_{eh}|^2$); точечными – отраженной мощности кросс-поля-

ризованной компоненты ($10 \lg|r_{eh}|^2$). Падение волны на метаструктуру считалось нормальным. Расчет был выполнен при следующих значениях параметров структуры: $R = 0,01$ м; $N = 3$; $r = 0,002$ м; $H = 0,05$ м; $d = 0,05$ м.

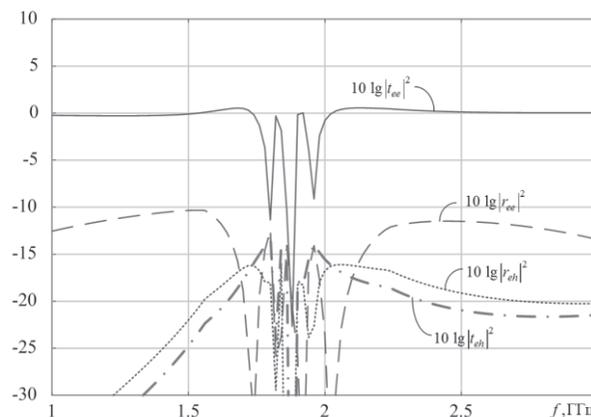


Рис. 4. Частотные зависимости отраженной и прошедшей мощностей в диапазоне от 1 до 3 ГГц

На частоте 1,88 ГГц наблюдаются условия для наилучшей концентрации энергии падающего излучения, так как уровни прошедшей мощности, основной и кросс-поляризованной компонент поля имеют близко расположенные по частоте локальные минимумы (уровни ослабления прошедших мощностей основного и кросс-поляризованного поля более 20 дБ). Суммарное ослабление мощности падающего излучения в прямом и обратном направлениях по основной компоненте поля составляет около 43 дБ. По сути, на указанной частоте структура является защитным покрытием.

Из рис. 4 также видно, что вблизи частоты 1,88 ГГц на характеристике наблюдаются резонансные минимумы коэффициентов прохождения и отражения основной компоненты. В связи с тем, что потери в среде-контейнере отсутствуют, а потери на тепло в тонкой проволоке малы, можно утверждать, что падающая мощность преобразуется в энергию поверхностных волн. Подробный анализ данного явления проводится в [5] для случая метаматериала на основе элементов Телледжена, то есть разомкнутых колец с выступающими прямолинейными концами.

На других частотах метаструктура является полностью прозрачной, и падающее излучение через нее проходит практически без ослабления (вблизи 0 дБ). Таким образом, рассматриваемую структуру можно трактовать как частотно-селективный концентратор СВЧ энергии в районе частоты 1,88 ГГц.

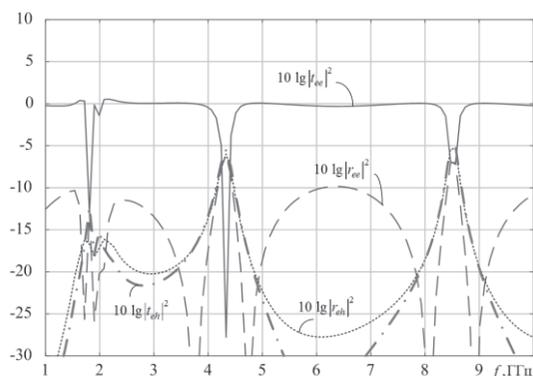


Рис. 5. Частотные зависимости отраженной и прошедшей мощности в диапазоне от 1 до 10 ГГц

На рис. 5 представлены частотные зависимости отраженной и прошедшей мощностей поля в диапазоне от 1 до 10 ГГц. Значения геометрических и физических параметров задачи аналогичны характеристикам на рис. 4. Как видно из рис. 5, ослабление прошедшей мощности основной компоненты имеет резонансы не только на основной частоте 1,88 ГГц, но и на частотах около 4,3 ГГц и 8,5 ГГц. На этих частотах происходит значительная кросс-поляризация поля и коэффициенты отражения и прохождения кросс-поляризованной компоненты имеют максимумы, однако и в данном случае часть энергии поля падающей волны переходит в энергию поверхностных волн, но более меньшая, чем на основной резонансной частоте. На всех других частотах метаструктура является прозрачной для СВЧ-излучения.

Таким образом, предлагаемый вариант метаструктуры выполняет функции многочастотного концентратора СВЧ-энергии, что позволяет, при подборе геометрических размеров контейнера и спиралей использовать ее для концентрации, например излучения от антенн GSM и WiFi одновременно. В результате проведенных расчетов доказано, что исследуемая метаструктура по свойствам является эквивалентной естественному кристаллу (или искусственной брэгговской решетке) в оптическом диапазоне, а именно частоты резонансных минимумов ослабления прошедшей мощности основной компоненты поля вычисляются из условия Вульфа-Брэгга с учетом преломления электронных волн в кристалле [11]:

$$2d\sqrt{(\varepsilon_2\mu_2 - \chi_2^2) - \cos^2\theta} = \nu\lambda, \quad (14)$$

где ν – порядок резонанса; λ – длина волны; θ – угол падения волны.

Используя (14), несложно записать выражение для резонансных частот метаструктуры, на

которых происходит преобразование нормально падающего электромагнитного излучения в поверхностные волны:

$$f_\nu = \frac{c\nu}{2d\sqrt{(\varepsilon_2\mu_2 - \chi_2^2) - \cos^2\theta}}, \quad (15)$$

($\nu = 1, 2, 3, \dots$).

Можно отметить две возможности применения исследуемого метаматериала вблизи резонансной частоты:

- частотно-селективный концентратор СВЧ-энергии, проводящий преобразование нормально падающей электромагнитной энергии в поверхностное (азимутальное) рассеяние;
- частотно-селективный защитный экран, непрозрачный для излучения вблизи основной резонансной частоты.

Заключение

Сформулируем основные выводы по результатам работы.

1. Концентратор электромагнитной энергии на основе киральной метаструктуры вблизи заранее заданной частоты позволяет выполнять преобразование нормального падающего потока электромагнитной энергии в азимутальное рассеяние.

2. Концентратор электромагнитной энергии на основе киральной метаструктуры вблизи заранее заданной основной резонансной частоты позволяет выполнять функции частотно-селективного защитного экрана.

3. В работе подобраны геометрические размеры концентратора, при которых киральный метаматериал обладает возможностью «захватывать» СВЧ-излучение вблизи частоты 1,88 ГГц.

4. Теоретически предсказана возможность дискретно-многочастотной концентрации падающей СВЧ-энергии при помощи киральной метаструктуры на ряде резонансных частот.

5. Доказано, что частоты, на которых метаматериал концентрирует СВЧ-энергии, подчиняются соотношению, аналогичному условию Вульфа-Брэгга для кристаллической среды.

Литература

1. Патент US 4416262. High Ratio Microwave Energy Concentrating Collector / Nieder-meyer W.P., 22.11.1983.
2. Ungan T., Polozec X. Le, Walker W., Reindl L. RF Energy Harvesting Design Using High Q Resonators // IEEE MTT-S International Microwave. Workshop on Wireless Sensing,

- Local Positioning and RFID. Canada, IMWS 2009. – P. 1-4.
3. Патент US 7763840. Radiant Energy Collector / Anderson A., 27.07.2010.
 4. Metamaterials Handbook. Edited by F. Capolino. CRC Press, V.1, 2009. – 1736 p.
 5. Осипов О.В., Плотников А.М., Салимова Н.Р. Использование эффекта азимутального рассеяния электромагнитных волн метаструктурой на основе элементов Теллеждена в прикладных задачах электродинамики // ИКТ. Т.10, №1, 2012. – С. 8-15.
 6. Lindell I.V., Sihvola A.H., Tretyakov S.A., Viitanen A.J. Electromagnetic waves in chiral and bi-isotropic media. London: Artech House, 1994. – 291 p.
 7. Третьяков С.А. Электродинамика сложных сред: киральные, биизотропные и некоторые бианизотропные материалы // Радиотехника и электроника. Т.39, №10, 1994. – С. 1457-1470.
 8. Неганов В.А., Осипов О.В. Отражающие, волноведущие и излучающие структуры с киральными элементами. М.: Радио и связь, 2006. – 280с.
 9. Каценеленбаум Б.З., Коршунова Е.Н., Сивов А.Н., Шатров А.Д. Киральные электродинамические объекты // Успехи физических наук. Т.167, №11, 1997. – С.1201-1212.
 10. Semchenko I.V., Tretyakov S.A., Serdyukov N.N. Research on chiral and bianisotropic media in Byelorussia and Russia in the last ten years // PIER. V.12, 1006. – P.335-370.
 11. Bragg W.L. The Diffraction of Short Electromagnetic Waves by a Crystal // Proceedings of the Cambridge Philosophical Society. V. 17, 1914. – P.43.

CHIRAL METAMATERIALS FOR FREQUENCY SELECTIVE CONCENTRATION MICROWAVE ENERGY

Osipov O.V., Pochepcov A.O., Yurasov V.I.

Electrodynamics analysis of metamaterial formed by periodically placing thin-wire multiturn spiral elements in a homogeneous dielectric container. Solved the problem of reflection of a plane electromagnetic wave from said metamaterial and the coefficients of reflection and transmission main and cross-polarized components of the field. It is proved that the metamaterial can convert radially incident super high-frequency (UHF) radiation at the resonant frequency surface waves. Calculated frequency dependence of moduli of the coefficients of reflection and transmission main and cross-polarized components of the field at different geometrical dimensions of the container and spiral inclusions. It is shown that the resonant frequency of the incident field in the conversion surface waves satisfy a relation similar to the Bragg condition for the crystalline environment.

Keywords: chiral media, metamaterial, energy conservation, low-reflection coating, protective coating, optimization.

Осипов Олег Владимирович, д.ф.-м.н., проректор по информации и образовательным технологиям Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 333-32-04, 8-917-941-10-73. E-mail: o.osipov@psuti.ru

Почепцов Андрей Олегович, аспирант Кафедры основ конструирования и технологий радиотехнических систем ПГУТИ. Тел. 8-917-163-55-50. E-mail: a.pochepcov@psuti.ru

Юрасов Виктор Игоревич, ведущий менеджер компании «Huawei Technologies» (г. Нижний Новгород). Тел. 8-831-415-52-54. E-mail: jurassov.victor@yandex.ru

УДК 621.317.621.397.13

ЦВЕТОВЫЕ ИСКАЖЕНИЯ В ТЕЛЕВИДЕНИИ И МЕТОДЫ ИХ УМЕНЬШЕНИЯ

Ложкин Л.Д., Кононенко А.В., Вороной А.А.

Показаны источники цветовых искажений в телевидении и что цвета, координаты цветности которых находятся внутри треугольника цветового охвата экрана телевизионного (ТВ) приемника, возможно воспроизвести колориметрически точно, то есть без цветовых искажений.

Предложен способ реализации ТВ-системы с колориметрически точным воспроизведением цветности изображения.

Ключевые слова: цветовой локус, МКО, телевизионная камера, координаты цветности.