

Анализ киральных рассеивателей методом интегральных уравнений

В.И.Демидчик, П.Д.Кухарчик, Р.В.Корнев

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к изучению электромагнитных процессов в микроволновом диапазоне в киральных средах. Это связано прежде всего со специфическими свойствами рассеяния электромагнитных волн на объектах с киральными включениями. Такими включениями чаще всего являются маленькие металлические или керамические спирали, хаотично распределенные в диэлектрике. Определение электродинамических параметров таких сред представляет собой сложную задачу, которая требует знания микроволновых характеристик отдельных киральных элементов.

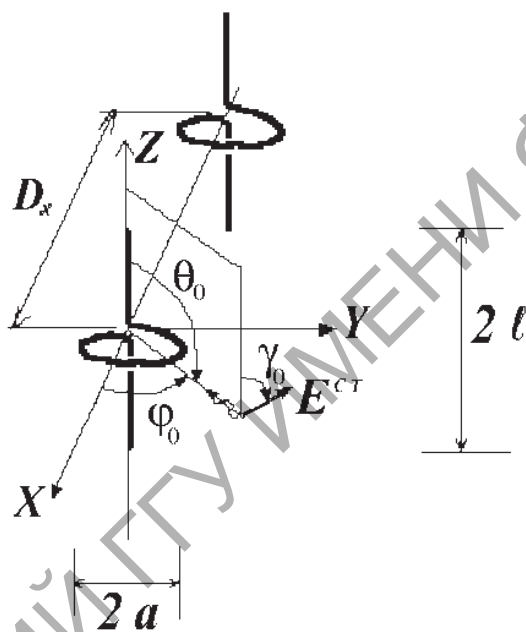


Рис. 1: Система киральных частиц

В данной работе рассмотрена задача моделирования характеристик рассеяния кирального элемента в виде витка спирали с подключенными прямолинейными проводниками и исследования взаимодействия системы таких частиц. Геометрия показана на рис. 1. Падающая волна распространяется вдоль луча, определяемого углами θ_0 и ϕ_0 сферической системы координат, а вектор электрического поля падающей волны задается углом γ_0 относительно плоскости, проходящей через ось Z и вектор направления распространения волны.

При взаимодействии с внешним полем $E^{\text{ст}}$ на поверхности частиц возбуждаются токи, которые в свою очередь создают рассеянное поле. Расчет распределения токов вдоль частицы проводился методом моментов на основе интегрального уравнения По-кликтона по методике, описанной в [1]. На основании данных о токе рассчитывались поля излучения киральной частицы и ее эффективный поперечник рассеяния [2].

В [3] было проведено исследование частотной зависимости ЭПР для рассеянных в обратном направлении (основной и деполаризованной) компонент поля при различных геометрических размерах одиночной частицы и различных углах падения возбуждающей электромагнитной волны. Результаты численного эксперимента показывают, что

изменение длины вибраторов или радиуса витка спирали позволяет существенно влиять на величину ЭПР деполяризованной компоненты. Это дает возможность управлять поляризацией рассеянного киральной частицей поля.

Для исследования взаимодействия проводилось сравнение характеристик рассеяния структур, состоящих из одной и двух частиц, соответственно. В системе из двух элементов направление падения волны выбиралось вдоль частиц $\Theta_0 = 90^\circ$; $\phi_0 = 0^\circ$; $\gamma_0 = 90^\circ$ (рис. 1). В этом случае результаты расчетов для двух элементов можно обобщить и на линейную систему из N таких элементов. Радиус спирали частиц был равен $a = 5$ мм; длина плеча вибратора $l = 5$ мм; расстояние между частицами D_x варьировалось в пределах 12..40 мм. Приведем наиболее характерные результаты расчета.

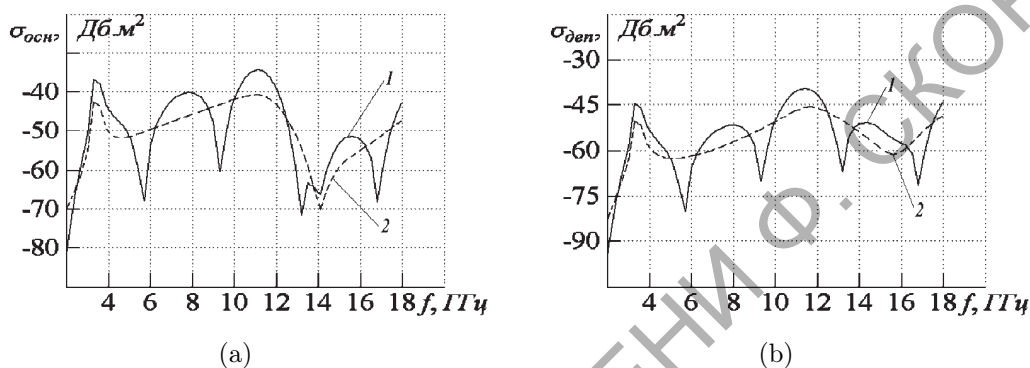


Рис. 2: Зависимость ЭПР основной (а) и деполяризованной (б) компонент поля, рассеянных в обратном направлении, от частоты: 1 – для двух частиц при $D_x = 40$ мм; 2 – для одной частицы

На рис. 2 изображены зависимости от частоты основной (рис. 2а) и деполяризованной (рис. 2б) компонент ЭПР для обратного направления рассеяния (1 – для двух частиц при $D_x = 40$ мм; 2 – для одной частицы). Из графиков видно, что хотя на кривой 2 возникает множество дополнительных резонансов, по форме она совпадает с кривой 1. Максимумы этих резонансов возникают при D_x кратном $\lambda/2$. Так как поля, рассеянные отдельными частицами в прямом направлении, складываются в фазе, то зависимость ЭПР от частоты для системы частиц не зависит от периода решетки и определяется ЭПР одиночного элемента.

На рис. 3 представлены зависимости коэффициента эллиптичности P , рассеянного на двух частицах поля (рис. 3а), и угла поворота главной оси эллипса $\alpha_{\text{рас}}$ (рис. 3б) от частоты для прямого (кривая 1) и обратного (кривая 2) направления распространения волны. Расстояние между частицами $D_x = 40$ мм. Наблюдаемые на рис. 3а провалы вызваны тем, что на данных частотах сдвиг фаз между основной и деполяризованной компонентами рассеянного излучения становится кратным π . При этом рассеянное излучение становится линейно поляризованным. Зависимости, представленные на рис. 3, характерны также и для одиночного элемента, т. е. введение дополнительных элементов не приводит к изменению разности фаз между компонентами рассеянного поля.

Аналогичным образом был проведен численный эксперимент по рассеянию на системе, состоящей из двух одинаковых частиц, одна из которых повернута в плоскости XOZ на 90° . Из рис. 4а видно, что на интервале частот $f = 15..18$ ГГц коэффициент эллиптичности поля, рассеянного в направлении распространения волны, не превышает значения $1/10$, т. е. рассеянное на системе излучение можно считать линейно поляризованным. На рис. 4б показана зависимость поляризации рассеянного поля от поляризации па-

дающего излучения $\gamma_0 = 0..180^\circ$ для приведенного диапазона частот. В данном случае зависимость имеет линейный характер, при этом разность углов ($\alpha_{рас} - \gamma_0$) падающей и отраженной волн зависит от частоты. На рис. 5 показаны изменения, испытываемые ЭПР суммарного поля $\sigma_{полн}$ (рис. 5а) и коэффициентом эллиптичности $\alpha_{рас}$ (рис. 5б) при повороте плоскости поляризации падающего излучения. Как видно, система из таких частиц способна поворачивать плоскость поляризации падающего излучения.

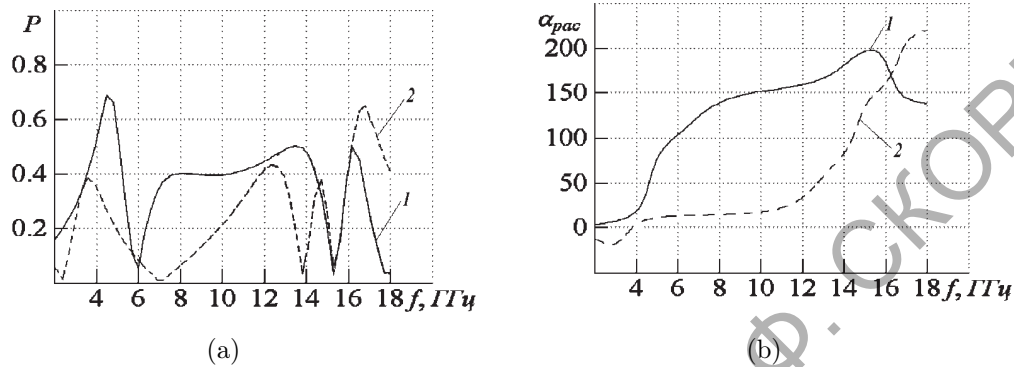


Рис. 3: Зависимость коэффициента эллиптичности (а) и угла поворота главной оси эллипса (б) от частоты при рассеянии на двух частицах: 1 – для прошедшей волны; 2 – для отраженной; $D_x = 40$ мм

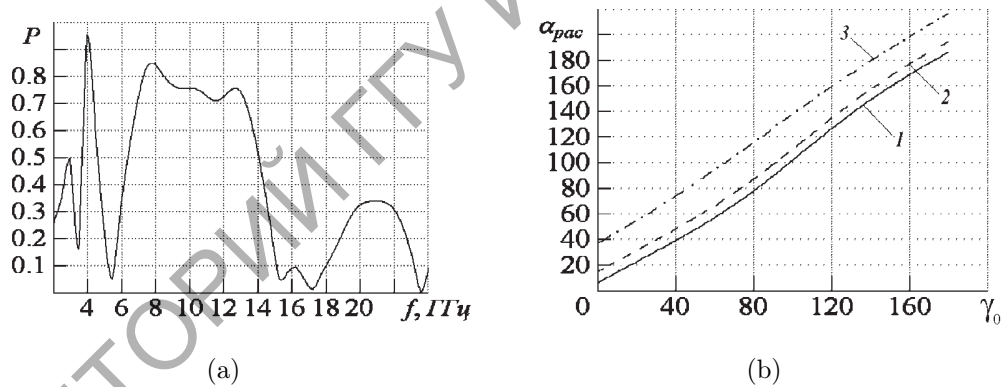


Рис. 4: Рассеяние поля на системе из двух перпендикулярных друг другу частиц, разнесенных на расстояние $D_x = 40$ мм: а) Зависимость коэффициента эллиптичности от частоты б) Зависимость угла поворота главной оси эллипса рассеянного поля (в градусах) от поляризации падающей волны при частотах: 1 – 17,7 ГГц; 2 – 16,5 ГГц; 3 – 15,3 ГГц

Таким образом, в данной работе проведен анализ киральных рассеивателей методом интегральных уравнений. Получены характеристики рассеяния для системы киральных частиц и рассмотрено их взаимодействие. Предлагаемая методика позволяет анализировать рассеивающие свойства различных киральных элементов, таких как маловитковые металлические спирали, омега-частицы и решетки из них. Результаты исследования могут быть использованы для анализа характеристик электромагнитного поля и определения материальных параметров сложных композитных материалов.

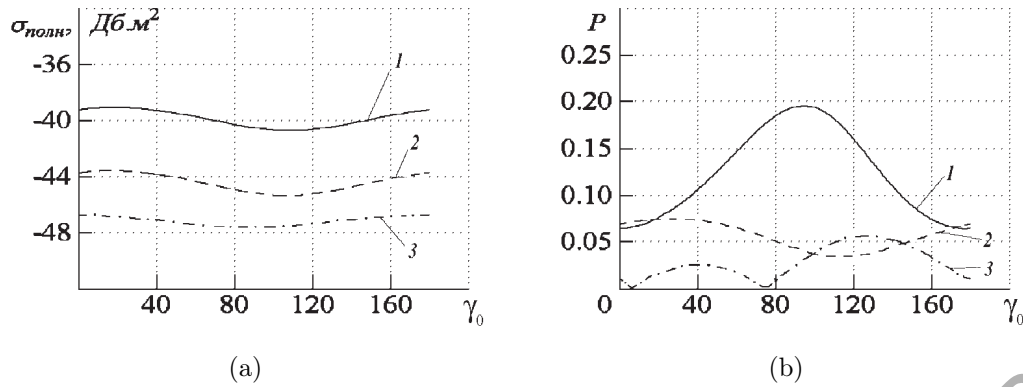


Рис. 5: Рассеяние поля на системе из двух перпендикулярных друг другу частиц, разнесенных на расстояние $D_x = 40$ мм для различных частот f : 1 – 17,7 ГГц; 2 – 16,5 ГГц; 3 – 15,3 ГГц. а) Зависимость ЭПР от ориентации вектора $E^{ст}$. б) Зависимость коэффициента эллиптичности от ориентации вектора $E^{ст}$.

Литература

- [1] В.И.Демидчик, А.В.Рунов, Н.В.Калашников, *Алгоритм расчета токораспределения электрически длинных криволинейных проводников*, Изв. ВУЗов, Сер. Радиоэлектроника, Киев, 1983. Т. 26, № 3. С. 82–84.
- [2] Е.Н.Васильев, *Возбуждение тел вращения*, М., 1987.
- [3] В.И.Демидчик, Р.В.Корнев, *Антенная модель киральных рассеивателей*, Вестник БГУ, Сер. 1. – 2001, № 2. С. 14–16.