

В.И. Кондратенко, Е.Л. Тихова
 УО «Гомельский государственный университет
 имени Франциска Скорины», Гомель, Беларусь

ГИРОТРОПНАЯ МЕТАСРЕДА

Введение

В настоящее время достаточно пристальное внимание уделяется проблеме построения искусственных моделей оптических сред в радиодиапазоне (метасреды) на основании применения проводящих элементов различной формы с размерами, меньшими длины волны электромагнитного излучения. Известный интерес представляет моделирование оптических процессов в радиодиапазоне, как с точки зрения изучения соответствующих механизмов взаимодействия электромагнитных волн с веществом, так и с точки зрения построения структур с новыми свойствами. В работах [1-2] теоретически рассматривается возможный механизм гирации в среде с планарной структурой на основе представления среды в виде совокупности слоев с анизотропией проводимости, развернутых друг относительно друга на малый постоянный угол. Показано, что такая структура может быть описана, как совокупность последовательно размещённых идеальных поляризаторов, развёрнутых на некоторый угол, в общем случае - не постоянный. Получены рекуррентные формулы для расчета параметров, пропускания и отражения данной многоэлементной структуры

$$\Gamma_{n+1} = \Gamma_n + \frac{\theta^2 \Gamma_n}{1 - \Gamma_n \Gamma_n} \quad \text{и} \quad \theta^2 = \frac{\theta_n \theta_{эфф}}{1 - \Gamma_n \Gamma_n}, \quad (1)$$

где $\theta_{эфф} = \frac{-2i \cos \alpha \sin \varphi e^{i2\varphi}}{1 - \cos^2 \alpha e^{i2\varphi}} = 2i A \cos \alpha \sin \varphi,$ (2)

$$\Gamma_{эфф} = -\frac{\sin^2 \alpha e^{i2\varphi}}{1 - \cos^2 \alpha e^{i2\varphi}} = A \sin^2 \alpha, \quad (3)$$

$$A = \frac{-e^{i2\varphi}}{1 - \cos^2 \alpha e^{i2\varphi}}. \quad (4)$$

В диапазоне радиочастот планарный поляризатор легко реализуется в виде решетки равноудаленных проводников с расстоянием между ними, значительно меньшим половины длины волны электромагнитного излучения. Данное обстоятельство позволило провести моделирование гиротропной структуры СВЧ на основе дискретных решётчатых элементов, а также сравнение полученных экспериментальных данных с результатом расчёта.

1. Экспериментальное исследование

Моделирование проводилось в диапазоне частот от 5-ти до 10 ГГц. Предварительно был произведен расчёт пропускания для структур с различным количеством поляризаторов в соответствии с выражением (1). На рисунке 1 представлены соответствующие зависимости пропускания для четырёхэлементной структуры в зависимости от угла разворота элементов и фазовой задержки волны между элементами. Следует отметить, что подобные зависимости были рассчитаны и для структур с иным количеством элементов от трёх до десяти.

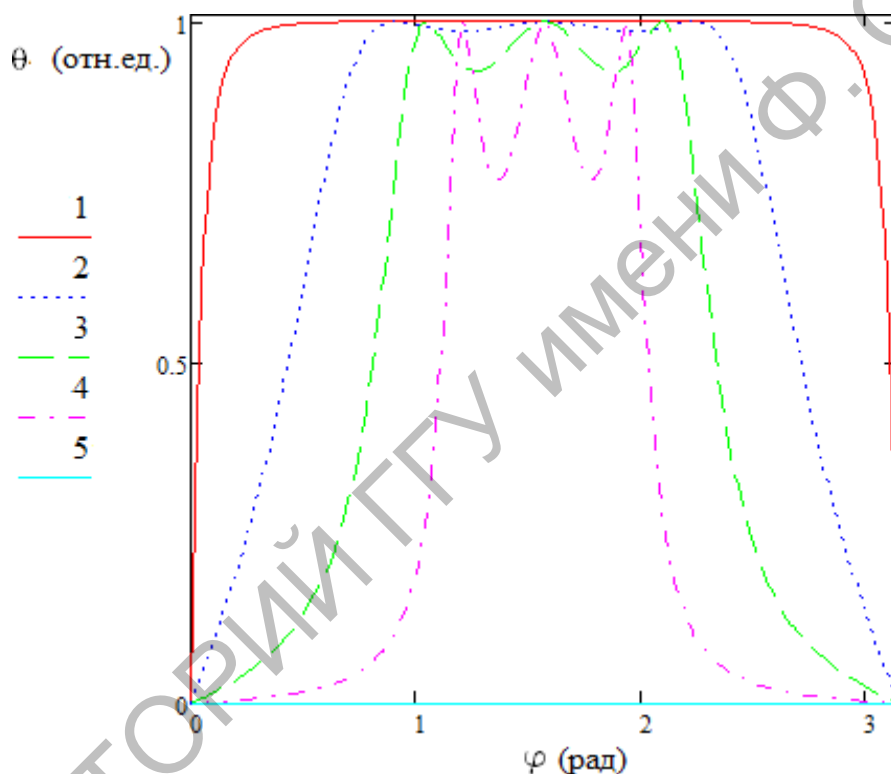


Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов прохождения от фазовой задержки φ для четырех решеток, где угол $\alpha = 10^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ для кривых 1, 2, 3, 4, и 5 соответственно

При выборе условий эксперимента исходили из принципа разумной достаточности. Четырёхэлементная система поляризаторов позволяет реализовать поворот поляризации на 90° (угол разворота при этом составляет 30°) с высоким коэффициентом пропускания в достаточно широкой полосе частот. Прогнозное значение полосы прозрачности соответствует в этом случае расстоянию между элементами от $0,4$ до $0,6 \lambda$ что позволяло судить о полосе прозрачности с динамическим диапазоном по частоте не хуже 1,5.

Минимальное расстояние между поляризующими элементами определялось толщиной несущей конструкции (пенопласт). Исследования проводились в диапазоне частот 4-8 ГГц. Установка содержала генератор качающейся частоты, что позволяло исследовать частотную зависимость. В качестве приемной и излучающей антенн использовались рупорные антенны, развязка по ортогональной поляризации для которых составила не менее 23-х децибелл. Фоновое излучение было на пределе чувствительности прибора – не выше -31дБ. В целом результат вполне соответствовал ожидаемому. В диапазоне 4-6 ГГц ослабление при повороте плоскости поляризации на 90° составляло от 0,2 до 1,0дБ. При этом на исходной поляризации ослабление было не хуже 22дБ. На частоте порядка 6,9 ГГц пропускание резко снижалось, затем приобретало нерегулярно осциллирующий характер, что не соответствовало сделанным расчётам.

2.Обсуждение результатов

В целом зависимость коэффициента пропускания структуры из четырёх поляризаторов соответствует расчётному. Неравномерность пропускания составила величину ниже ожидаемой, и, таким образом, моделируемая метасреда в полосе прозрачности весьма хорошо отвечает заявленным свойствам, и может служить моделью процессов вращения плоскости поляризации в средах с планарной структурой. Вместе с тем, поведение в области высоких частот существенно отличается от расчётного. Согласно расчёту, отмеченная частотная зависимость пропускания имеет квазипериодический характер, поскольку фазовый набег в пространстве между элементами структуры пропорционален частоте. Тем не менее- этого не происходит. Объяснением этому может служить дискретность самих поляризующих решеток. При высоких частотах – уменьшение длины волны- теряются поляризующие свойства этих решёток. Следует учитывать, что ослабление ортогонально поляризованной волны носит экспоненциальный характер, а потому возбуждение токов в элементах решёток может носить более сложный характер за счёт непосредственной связи между всеми элементами. На такую возможность указывает и малость неравномерности пропускания в полосе прозрачности. Особенности поведения пропускания в области низких частот на эксперименте имеют существенно менее выраженный характер, чем это следует из расчетов.

Заключение

Проведенное теоретико-экспериментальное исследование в целом подтверждает справедливость сделанных предположений о возможности описания эффекта вращения плоскости поляризации на основе представления гиротропной среды в качестве совокупности идеальных поляризаторов. Вместе с тем, результаты натурального эксперимента свидетельствуют о наличии неучтённых факторов при построении модели, что выражается в существенном отличии экспериментальных данных в области высоких частот от расчётных. В области первого окна (низкие частоты) прозрачности совпадение результатов расчёта и эксперимента вполне удовлетворительно.

Литература

1. Кондратенко, В.И. Волноводная теория гирации / В.И. Кондратенко // Известия Гомельского государственного университета имени Ф.Скорины. – 2015. – № 6(93). – С.121–124.

2. Ефимович, К.А. Модель планарной гиротропной среды в диапозоне СВЧ / К.А. Ефимович, Н.С. Колесник, В.И. Кондратенко // Юбилейная научно-практическая конференция, посвященная 85-летию Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины (Гомель, 17 июня 2015 г.): материалы: в 4 ч. Ч. 4 / редкол.: О.М. Демиденко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – С.34–37.