

**Кизименко В.В., Москалев Д.В., Наумович Н.М.,
Юбко А.П., Юрцев О.А.**

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Рассеяние электромагнитных волн микрополосковым излучателем

Приводятся результаты численного моделирования микрополоскового излучателя различными методами. Показано, что основной вклад в поле рассеяния дает базовая пластина излучателя. Описываются полученные закономерности.

Ключевые слова: микрополосковый излучатель, эффективная площадь рассеяния, диаграмма рассеяния.

От характеристик рассеяния антенны зависит их заметность при радиолокационном наблюдении, параметры электромагнитной совместимости в системах с антеннами, работающими в режимах излучения и приема, и другие факторы, сопровождающие работу радиосистемы. Микрополосковые антенны, особенно решетки таких антенн, применяются все более широко в радиолокационных и связных системах. Вместе с тем, задачи рассеяния волн такими антеннами почти не рассмотрены в литературе. В настоящей статье анализируются характеристики рассеяния микрополоскового излучателя в сантиметровом диапазоне волн. Анализ производится различными электродинамическими методами. Используются программы FEKO, CST Microwave Studio и оригинальная программа Scatter MPA. В этой программе используется метод интегральных уравнений в тонкопроволочном приближении [1] и тонкопроволочная модель микрополоскового излучателя [2, 3].

На рисунке 1 показан микрополосковый излучатель, созданный в программе FEKO.

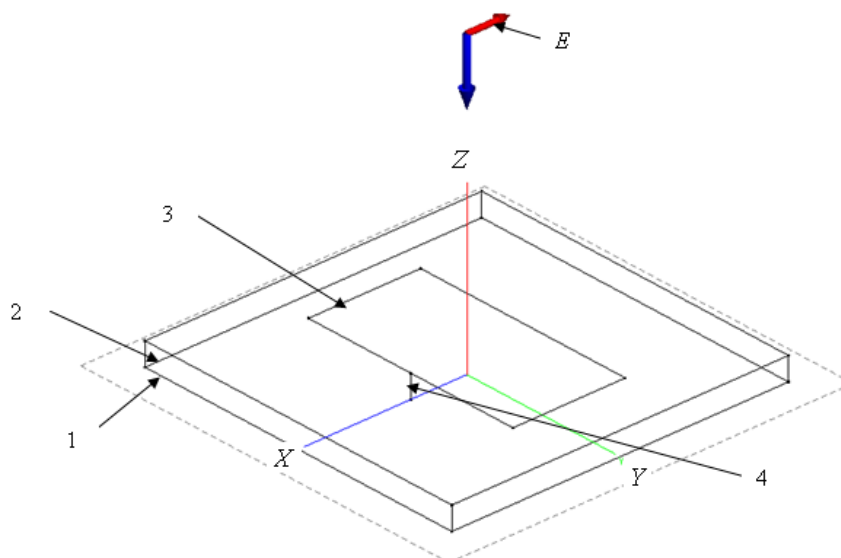


Рис.1. Микрополосковый излучатель

На рисунке приведены цифровые обозначения, а ниже они расшифрованы.

- 1 - базовая пластина (обозначение ВР);
 - 2 - подложка (обозначение РЕ)
 - 3 - излучатель прямоугольной формы (обозначение Iz),
 - 4 - зонд радиусом A_0 для возбуждения излучателя (обозначение zond),
- Порт в центре зонда (обозначение port) на рисунке 1 не показан.

Проведено численное моделирование всего излучателя и отдельных его элементов в различных программах и в разной комбинации элементов излучателя при различных геометрических размерах. Ниже изученные закономерности иллюстрируются на примере излучателя с параметрами:

- размеры базовой пластины в плоскостях XZ YZ: $L_x=30$, $L_y=30$ мм;
- размеры подложки в плоскостях XZ YZ: $L_x \times L_y \times H$ мм ($H=2$ мм – толщина подложки), диэлектрическая проницаемость $\epsilon=4$;
- размеры прямоугольной пластины излучателя в электрической плоскости (на рисунке 1 – в плоскости XZ) – $A_e=10$ мм, в магнитной плоскости (на рисунке 1 в плоскости YZ) – $A_h=20$ мм;
- диаметр зонда $D=0,2$ мм.

Частота, на которой проведено моделирование, равна 10 ГГц.

Численное моделирование проведено при различной комбинации элементов излучателя. Ниже при описании результатов моделирования используются следующие обозначения:

- РЕ – только подложка;
- РЕ+ВР – подложка+базовая пластина;
- РЕ+ВР+Iz – подложка+ базовая пластина +пластина излучателя;
- РЕ+ВР+Iz+zond – подложка+базовая пластина+пластина излучателя +возбуждающий зонд;
- РЕ+ВР+Iz+zond+port – подложка+базовая пластина+пластина излучателя +возбуждающий зонд+port.

Значения эффективной площади рассеяния (ЭПР) разных элементов и излучателя в целом удобно сравнить с ЭПР только металлической базовой пластины. Для нее при указанных выше размерах на частоте 10 ГГц достаточно точное значение ЭПР дает метод физической оптики. Все результаты, описываемые ниже, получены для случая облучения излучателя по нормали к базовой пластине полем с поляризацией, совпадающей с поляризацией излучателя в режиме передачи (см. рисунок 1). Для этого случая ЭПР плоской пластины определяется выражением [4]:

$$\sigma = 4\pi \left(\frac{S}{\lambda} \right)^2, \quad (1)$$

или

$$\frac{\sigma}{\lambda^2} = 4\pi \left(\frac{S}{\lambda^2} \right)^2, \quad (2)$$

где S -площадь пластины.

В частности, из (2) для прямоугольной пластины с размерами $\lambda \times \lambda$ следует, что

$\frac{\sigma}{\lambda^2} = 4\pi \approx 12,56$. Метод интегральных уравнений при замене пластины сеткой металлических проводников, расположенных друг от друга на расстоянии $0,05\lambda$, дает значение ЭПР/ λ^2 в максимуме диаграммы рассеяния (ДР) $\frac{\sigma}{\lambda^2} \approx 12,13$, или в абсолютных значениях

на частоте 10 ГГц $\sigma = 10917 \text{ мм}^2$. При расстоянии между проводниками рефлектора $0,15\lambda$ получается ЭПР в максимуме $\sigma = 10520 \text{ мм}^2$.

На рисунке 2 показана двухпозиционная диаграмма рассеяния (ДР) пластины размером $30 \times 30 \text{ мм}$ в плоскости Е при облучении по нормали, рассчитанная в программе FEKO методом моментов (а), методом интегральных уравнений в программе Scatter MPA (б) и в программе CST методом FDTD (в).

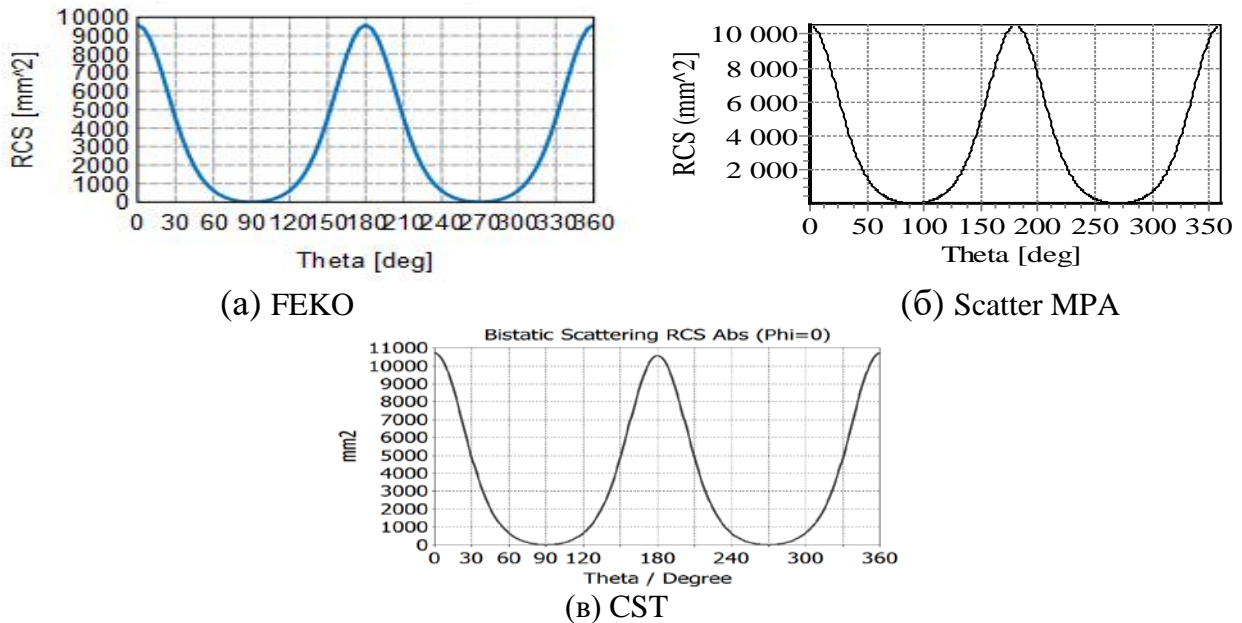


Рис.2. Двухпозиционная диаграмма рассеяния базовой пластины

Из рисунка 2 следует, что значения ЭПР в максимуме, рассчитанные в программе CST и в программе Scatter MPA, близки друг к другу. Значения ЭПР, рассчитанные в программе FEKO, примерно на 10% меньше. Последующий анализ характеристик рассеяния микрополоскового излучателя проведен, в основном, в программе CST.

На рисунке 3а показана ДР базовой пластины с подложкой (комбинация PE+BP), диэлектрическая проницаемость подложки $\epsilon = 4$, толщина подложки 2 мм (а), на рисунке 3б показана ДР для комбинации PE+BP+Iz.

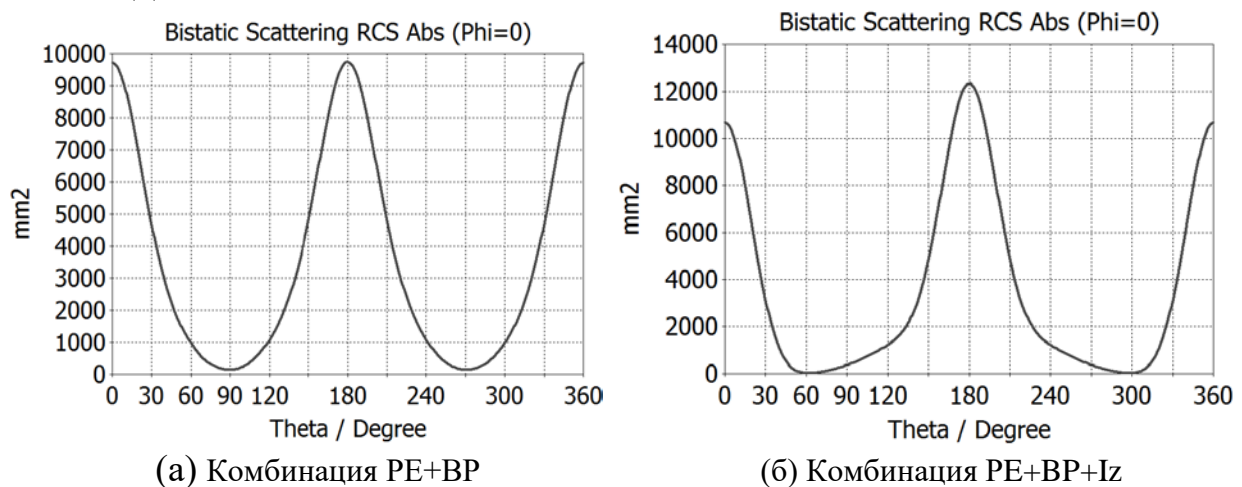
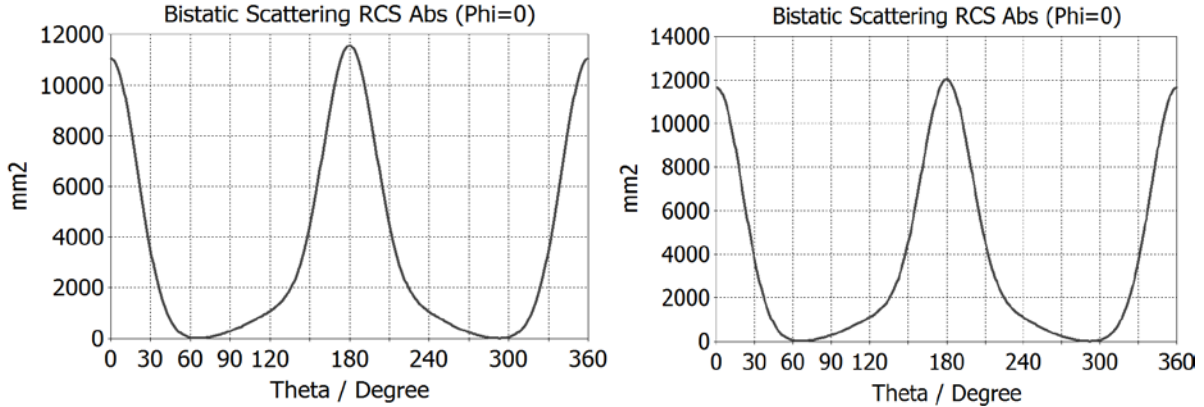


Рис.3. Двухпозиционная диаграмма рассеяния для двух комбинаций элементов микрополоскового излучателя

Из рисунков 2в и 3 следуют выводы:

1. Наличие подложки примерно на 10% уменьшило ЭПР.
2. Наличие пластины излучателя увеличило ЭПР в обратном направлении (при $\Theta=0$) и уменьшило ЭПР в прямом направлении.

Влияние возбуждающего зонда и порта иллюстрирует рисунок 4.



(а) Комбинация PE+BP+Iz+zond

(б) Комбинация PE+BP+Iz+zond+port

Рис.4. Двухпозиционная диаграмма рассеяния при наличии зонда (а) и порта (б)

И сравнения рис.3 и рис.4 следует, что возбуждающий зонд несколько выравнивает ЭПР в прямом и обратном направлениях, уменьшая при этом ЭПР в обратном направлении. Из сравнения рис.2в и рис.4б следует, что ЭПР микрополоскового излучателя (рис.4б) примерно на 13% больше ЭПР только одной базовой пластины и близко к значению ЭПР пластины, рассчитанной методом физической оптики (11300 мм^2). Различие составляет всего 7%, т.е. на уровне погрешности метода или эксперимента. Аналогичные результаты получены в программе Scatter MPA методом интегральных уравнений. На рисунке 5а показана диаграмма рассеяния микрополоскового излучателя, рассчитанного в этой программе, на рис.5б показана использованная для расчета проволочная модель микрополоскового излучателя [1, 2].

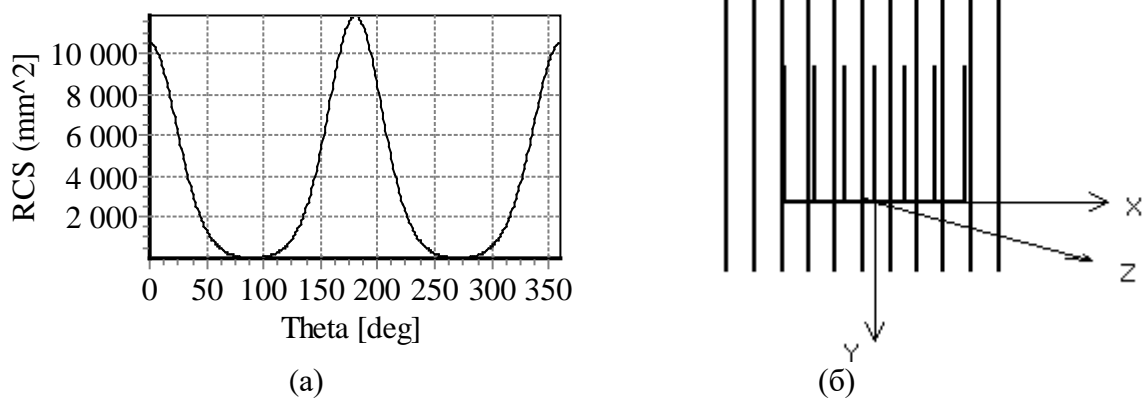


Рис.5. Двухпозиционная диаграмма рассеяния (а) и модель микрополоскового излучателя, полученные в программе Scatter MPA

Общие выводы:

1. Основной вклад в поле рассеяния микрополоскового излучателя дает металлическая базовая пластина.

2. Значения ЭПР, рассчитанные различными методами, различаются не более, чем на 10-15 %. Это примерно соответствует погрешностям измерения ЭПР.

3. При моделировании полосковых излучателей в режиме рассеяния можно учитывать только базовую пластину и использовать метод физической оптики.

Библиографический список

- 1 Pradeep K. Agrawal An Analysis technique for Microstrip antennas / Pradeep K. Agrawal, M.C. Bailey // IEEE Trans. on Antennas and Propagation. – 1977. – Vol. AP-25.– №6. – PP. 756 – 759.
2. Улановский, А.В. Моделирование микрополосковых антенных решеток с использованием метода интегральных уравнений / А.В. Улановский, В.В. Кизименко // Доклады БГУИР. – 2012. – №7 (69). – С. 92 – 98.
3. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р.Митры; пер. с англ. под ред. Э.Л. Бурштейна.– М.: Мир, 1977.
- 4.Справочник по радиолокации /Редактор М.Сколник.; пер. с англ.под общей редакцией К.Н.Трофимова. .– М.: Радио и связь, 1976.