Д.т.н. Панченко Б. А., Лебедева Е. В., Екимовских Е. А.
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, Россия
Уральский технический институт связи и информатики, Россия

Дифракционные характеристики многослойных сферических линз

Введение

Для формирования остронаправленного излучения могут быть использованы сферические линзы [1]. Антенны такого вида позволяют широкоугольное сканирование луча и формирование многолепестковых диаграмм направленности. К данному типу антенн относятся, например, антенны на базе линзы Люнеберга (ЛЛ) и линзы Максвелла (ЛМ) [2]. Основные антенные характеристики могут быть получены на основе решения дифракционной задачи. Работа посвящена определению дифракционных характеристик ЛЛ и ЛМ.

1. Многослойная модель линзы

Первая линза со сферической симметрией и зависящим от координат коэффициентом преломления была предложена Максвеллом в 1860 году и известна также как «рыбий глаз». Она обладает свойством собирать лучи выходящие из точки, расположенной на поверхности сферы в противоположной точке поверхности. Это происходит, если коэффициент преломления удовлетворяет условию: $n(r) = 4/(1+\tilde{r}^2)^2$, где ε' - относительная диэлектрическая проницаемость, $\tilde{r} = r/a$, а – внешний радиус линзы, r – текущая радиальная координата.

Люнеберг показал, что сферическая линза, возбуждаемая в опреленной точке поверхности, преломляет лучи таким образом, что они выходят с другой стороны параллельно диаметру. В этом случае коэффициент преломления должен удовлетворять условию: $n(r) = \sqrt{\varepsilon'(r)} = \sqrt{2 - \tilde{r}^2}$.

Геометрия линзы показана на рисунке 1.

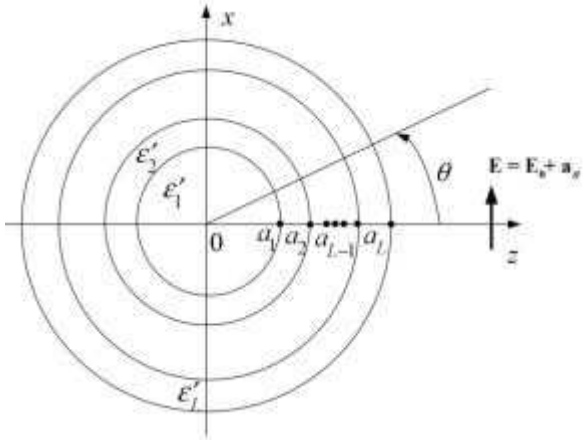

Рисунок 1 – Многослойная модель линзы

Источник облучения расположен на бесконечном удалении от линзы.

Наиболее простой вариант аппроксимации заданного профиля линзы – равношаговый, состоит в разбиении интервала значений диэлектрической проницаемости ε'на L участков. Значения ε' слоев определяются в соответствии с законом распределения. Последний слой L+1 – виртуальный воздушный слой. Также возможен

оптимизированный подход к распределению ε' и толщины слоев, рассмотренный в [3]. Мы используем шестислойную равношаговую аппроксимацию.

2. Метод расчета и дифракционные характеристики

Задача решается в сферической системе координат с использованием аппарата тензорных функций Грина [4]. При расчете ориентированных импедансов и адмитансов выполняется последовательный пересчет от слоя к слою.

Набор дифракционных характеристик включает в себя:

1. Компоненты напряженности электрического поля в дальней зоне в сферической системе координат – $\mathrm{E}_{\theta}(\theta,\varphi)$, $\mathrm{E}_{\varphi}(\theta,\varphi)$;
2. Компоненты основной и кроссполяризационной составляющих рассеянного поля – $\mathrm{E}_{on}(\theta,\varphi)$, $\mathrm{E}_{kn}(\theta,\varphi)$;
3. Полный коэффициент рассеяния – σ_s;
4. Коэффициент поглощения – σ_a;
5. Радиолокационный коэффициента рассеяния – $\sigma(0,0;0,0)$;
6. Попутный коэффициент рассеяния – $\sigma(\pi,0;0,0)$;

3. Численные результаты для ЛЛ

На рисунке 2 приведены диаграммы рассеяния ЛЛ в главных плоскостях, а также влияние оп- и кп-составляющих для диаметра линзы $2a = 4\lambda_0$.

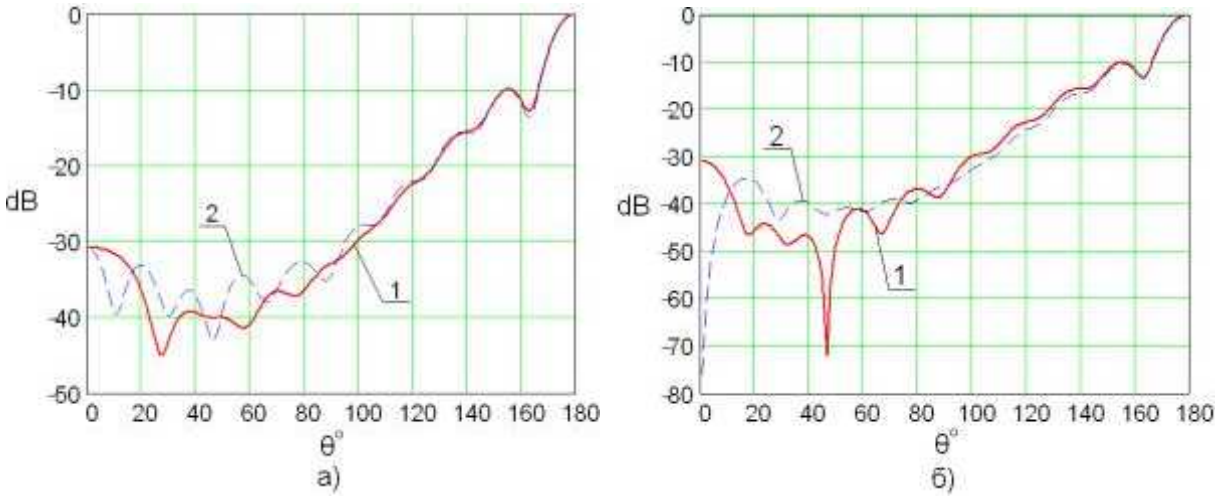

Рисунок 2 – Диаграмма рассеяния ЛЛ: а – $2a = 4\lambda_0$, $F(\theta,0)$, 2 – $F(\theta,\pi/2)$
б – $2a = 4\lambda_0$, 1 – $F_{on}(\theta,0)$, 2 – $F_{kn}(\theta,\pi/2)$;

В таблице 1 приведены результаты расчета дифракционных характеристик ЛЛ с учетом влияния потерь.

Таблица 1.

σ	$2a = 4\lambda_0$		
	$\mathrm{Im}(\varepsilon')=0$	$\mathrm{Im}(\varepsilon')=0.01$	$\mathrm{Im}(\varepsilon')=0.1$
σ_s	1.765	1.624	1.004
σ_a	0	0.139	0.765
$\sigma(0,0;0,0)$	0.104 (-9.83 dB)	0.07 (-11.55 dB)	0.006 (-22.218 dB)
$\sigma(\pi,0;0,0)$	123.084 (20.902 dB)	122.376 (20.877 dB)	118.315 (20.730 dB)

Заключение

Проведенные исследования показали, что обе линзы имеют близкие дифракционные характеристики. Для ЛМ разброс ε' в слоях больше, чем для ЛЛ, что позволяет снизить допуск на требуемые значения ε'.

Литература

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973. – 855 с.
2. Luneburg R.K. The mathematical theory of optics. Providence, RI: Brown Univ. Press, 1944.
3. Fuchs B., Le Coq L., Lafond O., Rondineau S. Design optimization of multishell Luneburg Lenses // IEEE Trans. AP. 2007. V. 55. № 2. pp. 283-289.
4. Панченко Б.А., Гизатуллин М.Г. Дифракция электромагнитных волн на металлических и диэлектрических сферах. Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2007. 88 с.