

4. Антенны и антенные элементы — 15 минут

Особенности граничной волны и методы ее расчета ¹

¹ Копытин В. Е., ¹ Лысенко Н. А., ¹ Усков Г. К., ² Скулкин С. П.

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ВГУ»)

г. Воронеж, Российская Федерация

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)

г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Аннотация: в статье рассматривается особенность распределения ближнего поля связанной с отражением от грани идеально проводящего бесконечно тонкого диска. Для решения задачи и верификации полученных результатов использовалось несколько методов. Пространственно-временной метод расчета импульсных характеристик сравнивается с известным численным методом FIT. Выявлены преимущества и недостатки каждого из методов.

1. Введение

Поля сверхширокополосных апертурных таких антенн могут быть рассчитаны численным методом, однако повышение используемых частот, требует все больше вычислительных ресурсов, что приводит к повышению времени расчета, поэтому в этой статье рассмотрен аналитический метод, основанный на физической оптике [1].

2. Постановка электродинамической задачи и расчет различными методами

Для изучения волны связанной с отражением от границы диска была построена электродинамическая модель рис. 1. С положительного направления оси Z падает линейно поляризованная волна на идеально проводящий бесконечно тонкий диск. Зонды поля расположены по радиусу с центром на грани проводящего диска и образуют тор главного радиуса которого равен радиусу диска.

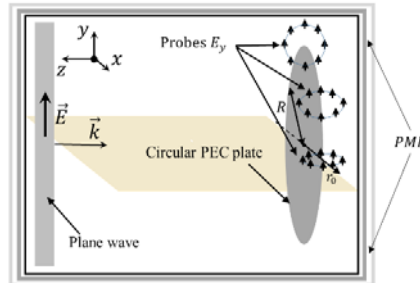


Рис. 1. Модель плоской круглой апертуры с зондами поля

Сначала рассчитаем поставленную электродинамическую задачу численным методом FIT. Основные параметры модели выбраны следующим образом: радиус диска $R = 0.5$ метра, расстояние от границ расчетной области до граней диска с каждой из сторон 0.51 метра, радиус на котором расположены пробники с центром на краю диска $R_p = 0.25$ метра. Сверхширокополосный линейно поляризованный сигнал с частотами от 1 МГц до 5 ГГц, выбирался таким образом, чтобы характерный размер апертуры был много раз больше длины волны λ_0 [2].

Для того чтобы разделить основную волну от граничной при постобработке полученных сигналов на зондах поля, накладывается временное окно, стоит отметить, что не в каждой точке пространства можно разделить эти волны, при приближении к оси z основная и граничная волны сливаются, а при приближении к плоскости диска, наблюдается наибольшая разница во времени между ними. На рис. 2 представлены максимумы граничной волны в зависимости от углов, видно, что помимо основной поляризации появляется кроссполяризационная компонента поля, которая связана с неравномерным протеканием токов на границе диска.

¹ Работа выполнена на основании решения Совета Программы Научного фонда Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)). Проект № 22-00-035 «Особенности импульсных полей апертурных антенн».

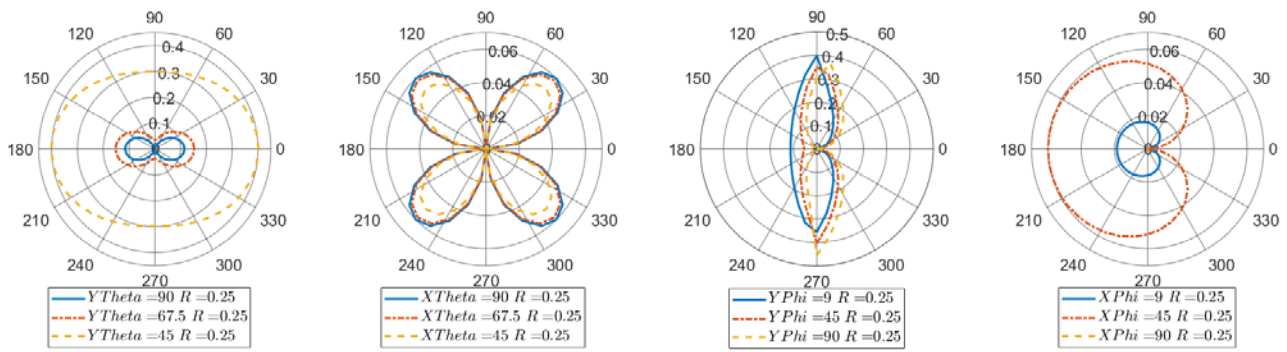


Рис. 2. Максимумы граничной волны, в зависимости от углов для разных компонент поля

Рассчитаем поставленную электродинамическую задачу пространственно-временным методом расчета импульсных характеристик. Авторы статьи [3,4] приводят выражение для поиска первообразной импульсной характеристики, которая по сути является представлением поля при излучении сигнала в виде δ -импульса, с учетом поляризационного множителя (1).

$$H(\vec{r}, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sqrt{1 - \sin^2 \gamma \sin^2 \varphi} d\varphi \quad (1)$$

Поляризационный множитель повышает точность определения основной волны, однако, точность определения граничных волн снижается, также авторы статьи рассматривают только основную поляризацию, опуская при этом кроссполяризационную компоненту поля.

В математической среде была написана программа, которая позволяет вычислить сигналы в тех же точках, что и при численном моделировании, на рис. 3 приведены максимумы граничных волн, рассчитанные аналитическим методом.

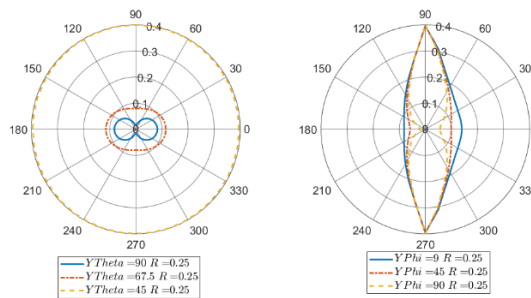


Рис. 3. Максимумы граничной волны, посчитанные аналитическим методом

3. Заключение

В данной работе было проведено исследование граничной волны с помощью численного метода FIT, показаны особенности распределения поля вблизи границы плоского идеально проводящего диска, однако, расчет данной задачи у сервера (Intel Xeon 3,1 ГГц, 1024 ГБ ОЗУ, 2 GPU NVidia A100) занял около 4 часов, поэтому для оценки ближнего поля был применен аналитический метод, основанный на физической оптике.

Несовпадение численного и аналитического методов в определении граничной волны проявляется при использовании поляризационного множителя, выведенного авторами [4]. Графики максимальных значений граничной волны в данный момент представляют собой интегральную сумму основной и граничной волн, поэтому целью дальнейших исследований является определение явного вида поляризационного множителя, а также нахождение кроссполяризационной компоненты поля.

Список литературы

1. R. Ianculescu and E Heyman, "Pulsed field diffraction by a perfectly conducting wedge: A spectral theory of transients analysis," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 42, pp. 781-789, June 1994.
2. Berenger J.-P. A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves / J.-P. Berenger // *Journal of Computational Physics*. – 1994. – V. 114, № 2. – P. 185-200.
3. Baum C. E. Intermediate field of an impulse-radiating antenna / C. E. Baum // *Ultra-wideband short-pulse electromagnetics 4* (IEEE Cat. No. 98EX112). – IEEE. – 1999. – P. 77-89.
4. S. P. Skulkin, N. A. Lysenko, G.K.Uskov, N. I. Kascheev, "Transient Far Fields of Aperture Antennas", *IEEE Antennas and Propagation Wireless Letters*, Vol. 18, Is. 5, pp. 1036-1040, May, 2019.