ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА МОНИТОРИНГА ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО КОНИЧЕСКОЙ РУПОРНОЙ АНТЕННОЙ

Кучина А.П.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается методология по расчету элементов поля, создаваемых коническим рупором. Кроме того, удалось уточнить математическую модель для определения плотности потока энергии вблизи апертуры конической рупорной антенны. В исследовании получены результаты построения диаграммы направленности в Mathcad в зависимости от фазировки.

Введение

На протяжении многих лет передача и прием информации с помощью апертурных антенн является важной областью, требующей постоянного развития. Рупорная антенна является, пожалуй, самым популярным типом апертурных антенн. Рупорные антенны широко используются для передачи и приема электромагнитных волн в таких областях, как микроволновая связь, тестирование электромагнитной совместимости. Также они нашли свое применение в качестве силовых элементов для радиоастрономии, спутникового слежения и антенн связи [1].

Существуют различные типы рупорных антенн: секторный рупор (Е-плоскость и Н-плоскость), пирамидальный рупор и коническая рупорная антенна. Имеется тенденция, что в основном рассматриваются характеристики излучения в Е- и Н-плоскостях секторных и пирамидальных рупоров, поэтому их характеристики излучения хорошо проанализированы, обобщены и получены диаграммы направленности [2]. Однако диаграмма направленности конической рупорной антенны, несмотря на ее популярность и широкий спектр применения, не получила должного внимания по сравнению с другими из-за сложности расчета параметров излучения.

Коническая рупорная антенна обеспечивает достаточно высокий коэффициент усиления и выдает большую мощность. Преимуществами конических рупорных антенн является возможность работы с чрезвычайно хорошими характеристиками направленности и коэффициента усиления, также неоспоримым преимуществом этой антенны является низкий уровень заднего лепестка. Предполагается, что характеристики излучения конического рупора сильно зависят от распределения амплитуды и фазы по апертуре рупора [3]. В настоящее время общепризнано, что при измерении мощности излучения конической рупорной антенны можно использовать метод интегрального дальнего поля, так что мощность излучения получается путем интегрирования плотности мощности поля излучения в пределах определенной поверхности пространства. Как правило, распределение плотности мощности на поверхности измеряется в процессе практической эксплуатации.

Необходимость проведения исследования на выбранную тему связана с тем, что в результате анализа аналогичных работ по этой теме необходимы дополнительные исследования для расчета коэффициента направленности в зоне Френеля, также учитывающие фазировку рупорной апертуры [4]. Впоследствии более точные результаты могут быть использованы в моделях, которые прогнозируют электромагнитную обстановку.

В данном исследовании предлагается новый метод получения диаграммы направленности конической рупорной антенны, который решает проблему получения более точных характеристик излучения.

Целью данного исследования является изучение параметров конической рупорной антенны, получение диаграммы направленности ее излучения методом интегрирования с учетом фазы апертуры рупора.

Теория волноводов и рупорных антенн

Антенны в форме открытого волновода обычно слабо направлены и требуют большой излучающей поверхности для достижения остронаправленных характеристик. Однако размеры отверстия волновода не могут быть слишком большими, иначе волны высшего порядка могут нарушить нормальную работу волновода. Кроме того, волноводные излучатели плохо согласуются со свободным пространством из-за большого коэффициента отражения, вызванного резким изменением распространения электромагнитных волн. Рупорные излучатели преодолевают эти недостатки путем плавного увеличения поперечного сечения волновода, что снижает интенсивность волн высшего порядка и улучшает координацию со свободным пространством. Конический рупор обычно возбуждается участком круглого волновода, в котором распространяется волна типа H_{11}, и имеет неустойчивую плоскость поляризации, создавая в рупоре сферическую волну с аналогичным распределением амплитуды и фазы, что и в круглом волноводе.

Методы анализа ДН конических рупоров

Анализ геометрической теории дифракции, приведенный в [5], — это метод, позволяющий точно предсказать диаграммы направленности (ДН) излучения конических рупоров в Е- и Н-плоскостях с использованием теорий Куюмджяна и Патхака и метода наклонной дифракции. Этот метод может точно рассчитать главный луч, ближние и дальние боковые лепестки и задние лепестки. Кроме того, можно рассчитать диаграммы излучения широкополосных гофрированных конических рупоров в главном луче, который содержит большую часть излучаемой энергии (-40 дБ относительно поля бокового обзора) более эффективным способом по

сравнению с традиционными методами, такими как интегрирование Кирхгофа или метод расширения сферической волны. Однако данный метод по расчету коэффициента направленного действия (КНД) конического рупора не учитывает фазировку апертуры, что приводит к значительному завышению расчетных значений КНД.

Важнейшим аспектом решения вопросов, связанных с оценкой электромагнитной безопасности, является определение плотности потока энергии электромагнитного излучения [6]. Это, в свою очередь, требует в качестве предварительной подготовки расчета таких параметров излучателя как нормированная характеристика направленности и коэффициент направленного действия. Настоящая методика описывает процесс расчета перечисленных параметров и плотности потока энергии для конического рупора с прямолинейной формой образующей, как показано на рис. 1.

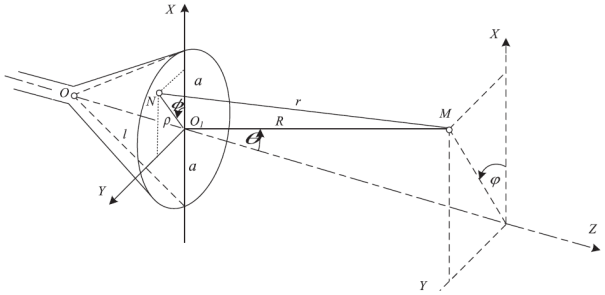

Рис.1. Пояснение к методу расчета ДН конической рупорной антенны

Возбуждение круглого волновода производится волной типа H_{11}. Форма рупора определяется такими параметрами как длина рупора (l) и радиус апертуры (a). Предполагается, что плоскость, содержащая вектор напряженности электрического поля E, соответствует углу $\varphi = \pi/2$. Для зоны Френеля поле в точке наблюдения можно представить в следующем виде:

$$E(\theta,\varphi) = -i\frac{E_0 a^2}{2R\lambda}(1+\cos\theta)e^{-ikR}f(\theta,\varphi)), \quad (1)$$

где

$$f(\theta,\varphi) = \int_0^{2\pi}\int_0^1 f(\rho,\phi)e^{-i\Upsilon\rho^2 - i\delta\rho\cos(\varphi-\phi)}\rho d\rho d\phi. \quad (2)$$

Далее приведена зависимость, которая аппроксимирует амплитудное распределение плоскости раскрыва рупора, возбужденного при помощи волны H11:

$$f(\rho,\phi) = (1 - 0{,}37\rho^2 + (-0{,}845 + +0{,}215\rho^2))\rho^2\cos^2\phi. \quad (3)$$

Параметр обобщения

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}\operatorname{asin}\theta. \quad (4)$$

Для учета результирующей расфазировки используем:

$$\Upsilon = \frac{ka^2}{2l} + \frac{ka^2}{2R}. \quad (5)$$

Далее поясним (5). Член $\frac{ka^2}{2l}$ рассматривает квадратичную фазировку, которая возникает вследствие разницы в длинах путей текущей точки N(ρ,ϕ) в апертуре и точки O. Член $\frac{ka^2}{2R}$ принимает во внимание квадратичную фазировку, учитывающую разность хода от наблюдаемой точки M(R,Θ) и точек N (в апертуре) и O1 (в центре).

Результаты исследования

Далее показана нормированная диаграмма направленности (ДН) конической рупорной антенны (рис.2) для E-плоскости ($\phi = \pi/2$). Формулы (2) – (5) были взяты в основу расчета характеристик, в качестве аргумента была взята обобщенная координата для значений ϒ квадратичной фазировки в диапазоне от π до 4 π.

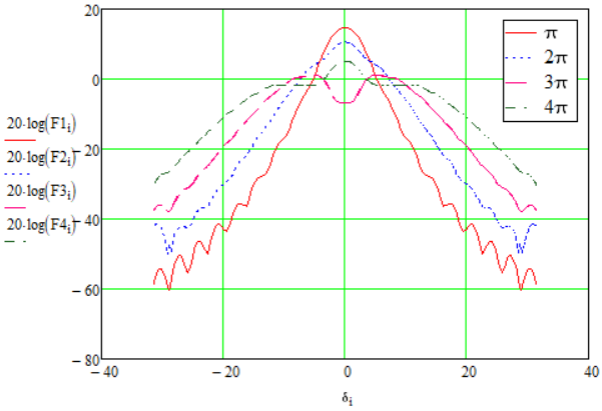

Рис.2. Расфазовка диаграммы направленности в плоскости E конической рупорной антенны

Заключение

В результате произведенного улучшения математической модели, используемой для расчета значений диаграммы направленности и КНД вблизи апертуры конической рупорной антенны, можно сказать о следующей практической значимости: данная методика поможет более точно производить измерения электромагнитного излучения в местах размещения радиоприборов, тем самым обезопасив людей от облучения.

Список литературы

1. A. Bala and G. Saini. Optimization of Horn Antenna using various Techniques: A Review. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, vol. 5, no. 10, pp. 7806-7809, 2016.
2. H. Kobayashi. Horn Antenna. Advances in Environmental Engineering and Green Technologies, pp. 144-177, 2020.
3. N. A. Aboserwal, C. A. Balanis and C. R. Birtcher. "Conical Horn: Gain and Amplitude Patterns," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 61, no. 7, pp. 3427-3433, July 2013.
4. B. Polat and R. Daşbaşı. "Analysis of Conical Horn Antenna Radiation over Ground by Directional Currents Method," 2021 20th International Conference on Microwave Techniques (COMITE), 2021, pp. 1-6.
5. M. Narasimhan and M. Sheshadri. "GTD analysis of the radiation patterns of conical horns," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 26, no. 6, pp. 774-778, November 1978.

6. V. Kubanov, V. Ruzhnikov, and M. Spodobaev. “Electrodynamic model of electromagnetic fields radiation of conical horn antenna for purposes of electromagnetic safety.” Infokommunikacionnye tehnologii, vol. 15, no. 1, pp. 97-102, 2017.