

СТАТЬИ

УДК 004.43:621.396.677.73

**СОЗДАНИЕ ПРОГРАММЫ ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ
НАПРАВЛЕННОСТИ РУПОРНЫХ АНТЕНН
СРЕДСТВАМИ ЯЗЫКА PYTHON**

Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.

Калужский филиал ФГОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: patrol8@yandex.ru

Рупорные пирамидальные апертурные антенны обладают рядом достоинств, делающих их незаменимыми при использовании для излучения или приёма волн сверхвысокой частоты (СВЧ). В частности, они имеют совершенную и легко корректируемую диаграмму направленности. Однако для осуществления расчёта размеров элементов антенны и построения диаграмм направленности (в разных плоскостях – горизонтальной и вертикальной, а также объёмной 3D диаграммы) существует необходимость в разработке программных средств на основе современных языков программирования. Все указанные задачи можно осуществить с помощью универсального, свободно распространяемого языка программирования Python при подключении к нему специальных библиотек. В ходе описываемой работы был разработан алгоритм расчёта основных размеров и характеристик антенны и написан программный код для визуализации диаграмм направленности. Для трёхмерного отображения диаграммы создана методика на основе применения команд библиотеки Matplotlib.pyplot для Python. Созданная программа позволяет рассчитывать рупорные пирамидальные антенны для любой частоты сигнала СВЧ. Разработанный при создании программы код визуализации может быть использован для отображения двухмерных и трёхмерных диаграмм направленности любого типа антенны. В заключение сделаны выводы по результатам исследования, а также намечены направления будущих разработок при решении задач проектирования и оптимизации новых типов антенн.

Ключевые слова: апертурная антенна, рупорная антенна, СВЧ, диаграмма направленности антенны, язык Python, модуль Matplotlib

**CREATION OF PROGRAM OF DIRECTIONAL DIAGRAMS
OF HORN ANTENNAS BY MEANS OF PYTHON LANGUAGE**

Ilichev V.Y., Yurik E.A.

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, e-mail: patrol8@yandex.ru

Horn pyramidal aperture antennas have a number of advantages that make them indispensable when used to emit or receive ultra-high frequency (micro-) waves. In particular, they have a perfect and easily corrected directional pattern. However, in order to calculate the size of antenna elements and construct directional-style diagrams (in different planes – horizontal and vertical, as well as volumetric 3D diagram), it is essentially necessary to develop software based on modern programming languages. All these tasks can be accomplished using the universal, freely distributed Python programming language when connecting special libraries to it. In the course of the described work, an algorithm was developed for calculating the main dimensions and characteristics of the antenna and a program code was written for visualizing directional patterns. For three-dimensional display of the chart the technique on the basis of use of commands of Matplotlib.pyplot library for Python is created. The created program allows calculating horn pyramidal antennas for any frequency of the microwave signal. The visualization code developed when creating the program can be used to display two-dimensional and three-dimensional radiation patterns of any type of antenna. Conclusions were drawn from the results of the study, as well as directions for future developments in solving the problems of designing and optimizing new types of antennas.

Keywords: aperture antenna, horn antenna, microwave, antenna pattern, Python language, Matplotlib module

Рупорные антенны являются одним из видов апертурных антенн, обеспечивающих направленность излучения за счёт формирования специально спроектированной формы их раскрытия. В основном они применяются в среднем (сантиметровом) диапазоне волн СВЧ, хотя могут использоваться также в миллиметровом и в дециметровом диапазонах.

Достоинствами данного типа антенн в указанной области применения являются [1]:

- простота, прочность и технологичность конструкции;
- удобство подключения к волноводным линиям;

– совершенная диаграмма направленности с отсутствием заднего лепестка и очень малыми боковыми лепестками;

– возможность достижения высокой мощности излучения;

– малые потери мощности и высокий КПД;

– наличие расчётных формул, обеспечивающих хорошее соответствие теоретических и практических результатов.

Обычно для возбуждения таких антенн используют простейший тип волн («волны основного типа») H_{10} , поле которых похоже на поле в плоском конденсаторе.

Наиболее совершенной формой рупорной антенны с точки зрения достижения

максимума указанных достоинств является рупорная антенна пирамидального типа, рассматриваемая в данном исследовании.

Целью данной работы являлась разработка методов вычисления основных размеров и характеристик рупорной антенны пирамидального типа, а главное – построения диаграмм направленности в полярной системе координат в горизонтальной H и вертикальной E плоскостях, а также объёмной (3D) диаграммы направленности с использованием библиотек языка программирования Python.

Данный метод должен отличаться простотой, удобством использования, наглядностью. Программные коды, написанные на языке Python, в частности для построения полярных и объёмных диаграмм направленности, должны быть применимы также для исследования других типов антенн.

При этом необходимо отработать технологию построения только главного, центрального, лепестка диаграммы направленности, так как задний лепесток у такого типа антенн практически отсутствует, а боковые лепестки очень малы, к тому же существуют исследованные способы для дальнейшего снижения их уровня [2].

Материалы и методы исследования

Алгоритм разработанной программы состоит из следующих блоков:

1. Импорт необходимых модулей языка программирования Python: Numpy для создания массивов и заполнения их данными, необходимыми для визуализации

результатов расчёта [3]; Matplotlib.pyplot для создания полярных двухмерных диаграмм и трёхмерной фигуры диаграммы направленности [4].

2. Расчёт основных размеров рупорной антенны для заданной частоты f , $\Gamma_{\text{ц}}$ в порядке, описанном в [5, 6]. Эта методика основана на достижении максимального КНД (коэффициента направленного действия антенны), т.е. на проектировании так называемого оптимального рупора [7].

Данный расчёт состоит в последовательном определении λ – длины волны излучаемого сигнала, ширины и высоты прямоугольного волновода a и b (рис. 1), горизонтальной и вертикальной сторон раскрытия раструба рупора a_p и b_p , длины рупора в горизонтальной плоскости L_H и в вертикальной плоскости L_E .

3. Определение значения КНД D_0 в направлении максимального излучения антенны, исходя из которого, после построения диаграммы направленности антенны (и тем самым нахождения относительного КНД при любом горизонтальном и вертикальном угле), можно найти КНД в любом направлении.

4. Расчёт диаграммы направленности рупорного излучателя в предположении, что поле в раскрытии рупора является синфазным и амплитудное поле сигнала совпадает с полем сечения питающего волновода. При данном расчёте принят очень небольшой шаг изменения угла в горизонтальной и вертикальной плоскостях (для плавности получаемых графиков); диапазон углов изменяется от 0 до 2π рад.

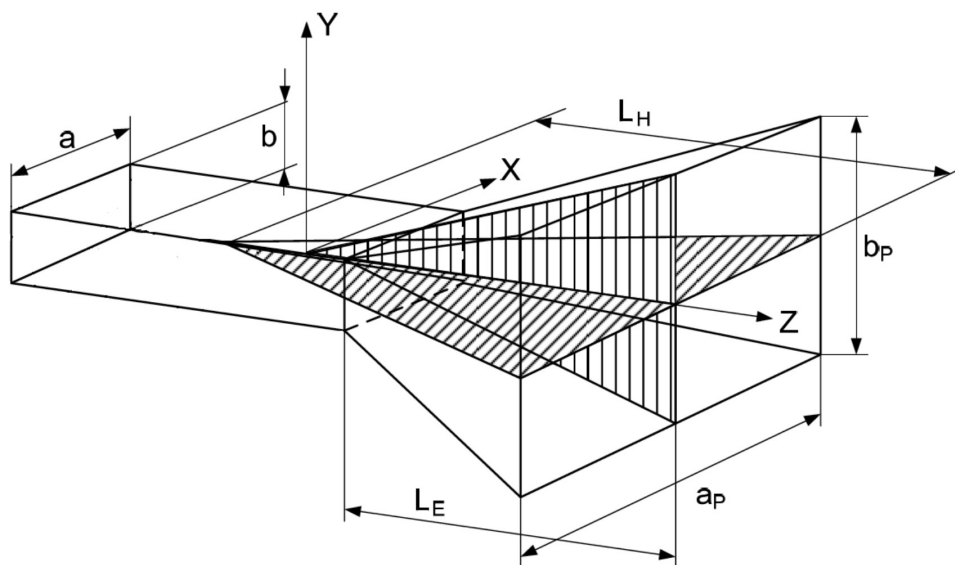


Рис. 1. Эскиз и расчётные характеристики пирамидальной рупорной антенны

Рассчитанные значения относительных КНД при разных углах (радиусы на плоскостных диаграммах направленности в полярных системах координат) заносятся в отдельные массивы NumPy для горизонтальной и вертикальной плоскостей (H и E).

5. С помощью функций модуля Matplotlib.pyplot изображаются диаграммы направленности антенны в полярных координатах (в зависимости от угла) в плоскостях H и E .

6. Создаётся сетка в декартовых координатах X, Y, Z , в узлах которой необходимо определить значения относительных КНД путём пересчёта их значений из полярной системы координат с применением тригонометрических функций (которые вычисляются также с использованием модуля NumPy).

7. С помощью функций модуля Matplotlib.pyplot в системе координат X, Y, Z по значениям в узлах сетки создаётся поверхность, изображающая объёмную диаграмму направленности рассчитываемой рупорной антенны.

Результаты исследования и их обсуждение

Для демонстрации результатов работы разработанной программы в качестве примера была рассчитана пирамидальная рупорная антенна конструкции, изображённой на рис. 1, с частотой излучаемой волны $f = 3 \cdot 10^9$ Гц (длина волны $\lambda = 10$ см).

В результате расчёта получились следующие размеры волновода и рупо-

ра: $a = 70$ мм, $b = 31,5$ мм, $a_p = 95$ мм, $b_p = 63$ мм, $L_H = 30$ мм, $L_E = 20$ мм. Значение КНД в направлении максимального излучения антенны $D_0 = 4,81$.

График диаграммы направленности в горизонтальной плоскости H изображён на рис. 2.

Как видно из рисунка, антенна обеспечивает хорошую направленность в направлении раскрытия рупора (наибольший относительный КНД, как и следовало ожидать, наблюдается при угле 0 рад, т.е. в направлении оси Z).

Аналогично была рассчитана и построена диаграмма направленности в вертикальной плоскости E (рис. 3).

В вертикальной плоскости наблюдается также хорошая направленность антенны.

По обоим полученным диаграммам направленности пирамидального рупора можно сделать вывод, что они являются сужающимися, в отличие, например, от диаграмм направленности H - или E -секториальных рупоров.

На рис. 4 показана объёмная диаграмма направленности в декартовой системе координат X, Y, Z (оси соответствуют рис. 1).

Данный рисунок отличается высокой наглядностью, и на нём отчётливо видно, что наибольшая интенсивность КНД наблюдается по «углам» рупора антенны. Указанную поверхность, полученную средствами модуля Matplotlib.pyplot, можно вращать, подробно рассматривая с разных сторон и увеличивая интересующие исследователя детали.

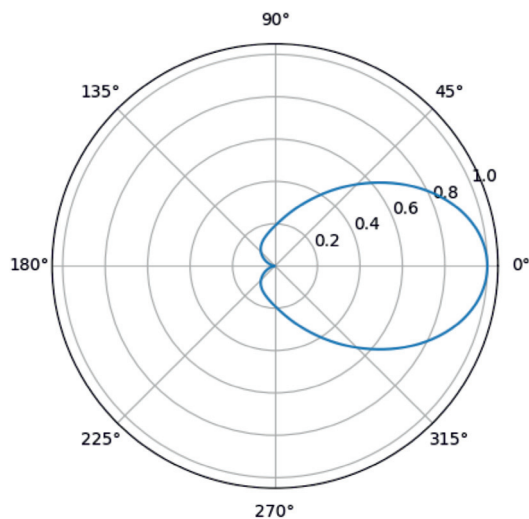


Рис. 2. Диаграмма направленности рассчитанной рупорной антенны в горизонтальной плоскости H

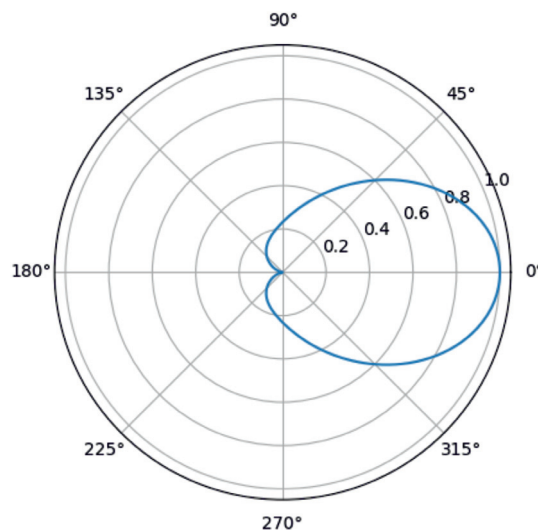


Рис. 3. Диаграмма направленности рассчитанной рупорной антенны в вертикальной плоскости E

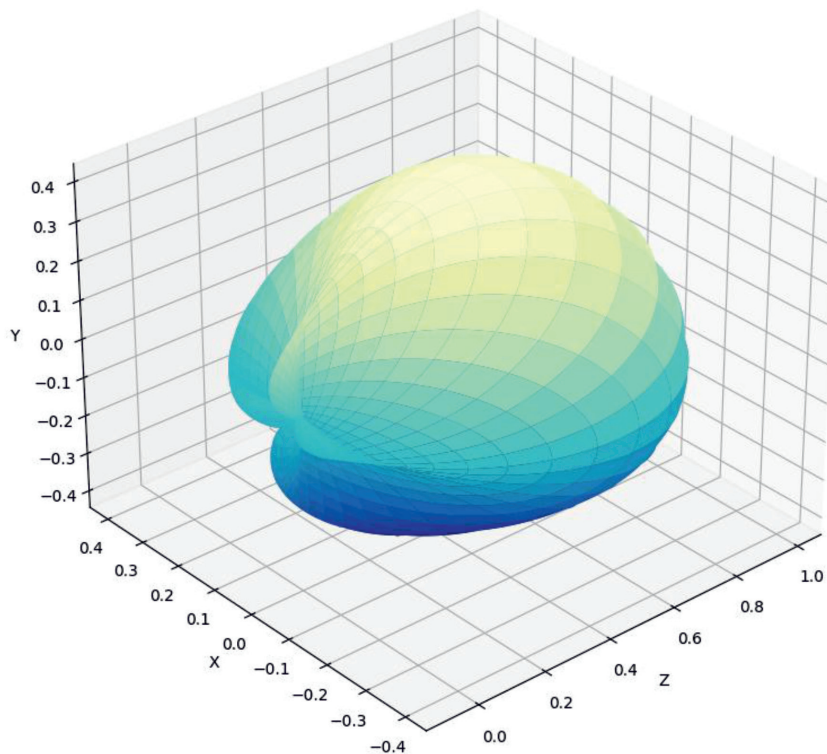


Рис. 4. Объёмная (3D) диаграмма направленности рассчитанной рупорной антенны

Расчёты, подобные вышеприведённому, проводились и для других частот (длин волн) излучаемого антенной сигнала – объёмная диаграмма направленности при этом имеет похожую форму. Её можно корректировать, изменяя размеры волновода, углы раскрытия и длину горизонтальной и вертикальной сторон рупора (все эти параметры поддаются принудительному изменению вручную внутри кода программы). Однако, чем больше изменять размеры по сравнению с рассчитанными программой, тем сильнее будет уменьшаться КНД в направлении максимального излучения антенны.

Заключение

При увеличении длины излучаемых антенной волн размеры волновода и особенно раскрытия рупора могут сильно увеличиваться (например, при длине волны 1 м размеры раскрытия получаются равными $a_p = 0,95$ м, а $b_p = 0,63$ м, длины сторон рупора $L_H = 0,3$ м, а $L_E = 0,2$ м). Естественно, такие рупоры из-за их громоздкости применять на практике сложно (хотя их массу можно снизить, применяя материалы с низкой плотностью, например, фольгированный текстолит).

Для уменьшения длины рупора, оставляя размеры раскрытия прежними, в нём можно установить так называемую радиолинзу [8] – диэлектрическую вставку, выравнивающей распределение фазы (при этом КНД не снижается). Для расчёта рупора с радиолинзой также подходит представленный выше порядок расчёта и используемые модули и функции языка Python; только формулы, используемые в программе, будут иметь иную форму.

В ходе выполнения работы были выполнены следующие задачи:

- рассмотрены особенности и достоинства пирамидальных рупорных апертурных антенн, работающих в СВЧ-диапазоне;

- сформулирована цель и выбраны средства решения задач, возникающих в ходе проводимой научно-исследовательской работы;

- описан алгоритм программы для расчёта антенны, с рассмотрением особенностей применения функций языка Python;

- приведён пример расчёта размеров и характеристик антенны, произведён краткий анализ полученных с помощью программы двумерных (в двух плоскостях) и трёхмерных диаграмм направленности;

– даны рекомендации по доработке конструкции рупорной антенны при необходимости снижения её габаритных размеров.

Созданная в результате работы программа позволяет автоматизировать, ускорить и сделать более наглядным процесс проектирования рупорных антенн [9, 10].

Разработанные программные методы рекомендуются применять для получения диаграмм направленности и других типов антенн. Также можно, например, подробно исследовать влияние размеров антенны на форму поверхностей направленности, добиваясь необходимых характеристик.

Проведённое исследование показывает удобство применения выбранного современного языка программирования Python и его библиотек при проектировании и исследовании параметров антенн. Рекомендуется использование этого языка для создания и прочих радиотехнических приложений. С его помощью возможна также обработка данных в реальном времени, автоматическое размещение информации на сайты и многое другое.

Также полученные результаты могут явиться отправной точкой для тех, кто собирается начинать или продолжать исследования в данной области. В частности, авторы планируют в ходе дальнейших работ разработать методику создания конструктивных конфигураций, а также расчёта диаграмм направленности и прочих характеристик фрактальных антенн, с целью их совершенствования, в том числе с проведением экспериментов и их обработкой с помощью модулей языка Python [11, 12].

Список литературы

1. Мительман Ю.Е., Абдуллин Р.Р., Сычугов С.Г., Шабунин С.Н. Антенны и устройства СВЧ: расчет и измерение характеристик. М.: Юрайт, 2017. 138 с.
2. Ставцев Б.С. Способ снижения уровня боковых лепестков диаграммы направленности рупорной сверхширокополосной антенны // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2017. № 657. С. 131–140.
3. Пылов П.А., Протодяконов А.В. Использование и представление массивов в библиотеке Numpy // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 23. С. 258–266.
4. Ильичев В.Ю., Гридчин Н.В. Визуализация масштабируемых 3D-моделей с помощью модуля Matplotlib для Python // Системный администратор. 2020. № 12 (217). С. 86–89.
5. Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарев Л.И. Устройства СВЧ и антенны. Изд. 2, доп. и перераб. М.: Радиотехника, 2006. 376 с.
6. Заикин И.П., Тощий А.В., Абрамов С.К. Проектирование антенных устройств систем связи: учеб. пособие. Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. 78 с.
7. Белоусов А.Г., Ганичев А.А., Драч В.Е., Чухраев И.В. Рупорный облучатель с диаграммой направленности специальной формы // Вопросы радиоэлектроники. 2012. Т. 1. № 3. С. 43–50.
8. Алымов Н.Л., Горшков А.А., Кочетков В.А., Солдатов И.В., Ханарин И.М., Черкасов А.Е. Асимптотические, электродинамические методы и модели проектирования радиолинз как элементов диаграммообразующих схем антенных решеток РЭС СВЧ- и КВЧ-диапазонов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 2. С. 13–29.
9. Драч В.Е., Кузнецова Д.А., Самбуров Н.В., Чухраев И.В. Расширение полосы частот рупорной антенны Н-образного сечения // Электромагнитные волны и электронные системы. 2018. Т. 23. № 1. С. 19–23.
10. Драч В.Е., Луганская А.И. Моделирование влияния преграды на характеристики рупорной антенны // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2018. № 65. С. 19–25.
11. Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. Создание программы расчёта упорных подшипников скольжения на языке Python // Научное обозрение. Технические науки. 2020. № 3. С. 14–18.
12. Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. Анализ массивов данных с использованием библиотеки Pandas для Python // Научное обозрение. Технические науки. 2020. № 4. С. 41–45.