

А.А. ШМАВОНЯН, А.И. ТИМОТИН, А.К. АГАРОНЯН

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ
РЕШЕТКИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Во многих задачах, связанных с приемом и передачей сигнала, имеется потребность в антеннах с узкой шириной основного луча. Это обусловлено требованиями к точности детектирования объектов, дальности действия, помехозащищенности и т.д. Для оптимизации процесса расчётов и построения модели разработаны алгоритмы программ, рассчитывающие оконные функции и производящие автоматическое построение геометрической модели антенной решетки по заданным характеристикам.

Ключевые слова: амплитудное распределение, программирование, фазированная антенная решетка, компьютерное моделирование.

Введение. В настоящее время для решения задач обеспечения радиолокации и персональной спутниковой связи широко применяются плоские фазированные антенные решетки (ФАР). Как правило, ФАР имеют рабочие поверхности большой площади. Во многих задачах использование обычных антенн затруднено требованиями к системе. Эти требования могут быть связаны с точностью детектирования целей в радиолокации или с физическими особенностями системы, когда реализация механического сканирования сектора затруднена. Однако параметры направленности антенной системы можно улучшить, если использовать не одиночный излучатель, а антенную решетку (АР). Причем характеристики диаграммы направленности (ДН) решетки можно улучшить прямо пропорционально количеству элементов решетки [1]. Например, смена фаз между элементами решетки может быть реализована непрерывно во время работы ФАР, что обеспечит электронное сканирование ДН в пространстве. А питание излучающих элементов решетки может быть распределено равномерным и неравномерным способами. Последний тип размещения при обработке функцией распределения дает нам возможность изменить ДН в соответствии с указанными требованиями. Применение весовых функций не ограничивается изменением расположения элементов в пространстве, оно также может быть применено к распределению амплитуд токов в решетке. Во время моделирования АР с помощью программных пакетов, как правило, отсутствует возможность расчёта весовых коэффициентов, что существенно замедляет процесс построения модели [2].

В работе рассматривается возможность оптимизации процесса моделирования и построения модели АР согласно блок-схеме (рис.1).

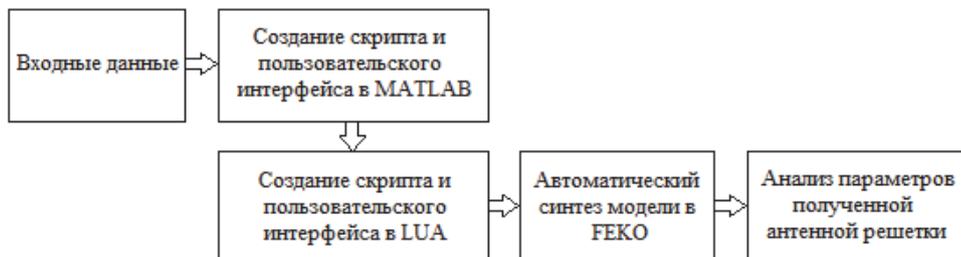


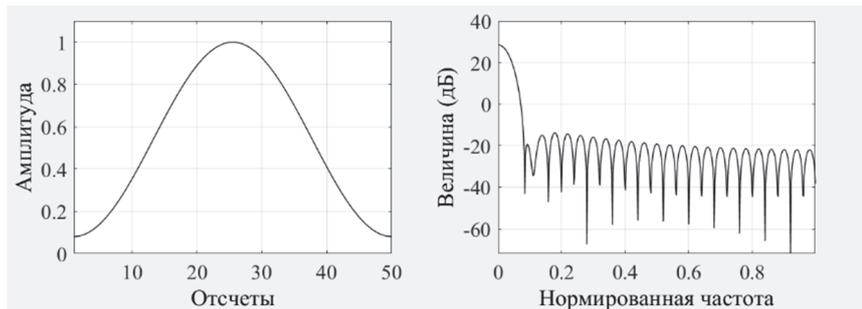
Рис. 1. Блок-схема моделирования и построения модели АР

Созданы алгоритмы для расчета определенных значений функций, построения ДН и автоматического синтеза геометрической модели АР в соответствии с заданными характеристиками.

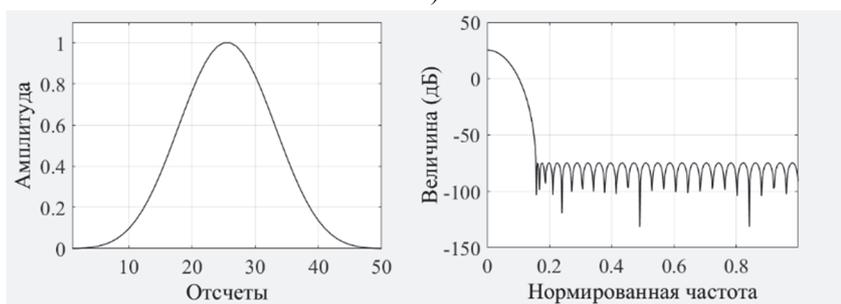
Создание алгоритма для математического синтеза антенной решетки. При создании АР требуется произвести ее расчет согласно заданному техническому заданию, затем построить компьютерную модель для математического моделирования, провести, при необходимости, исследование результатов моделирования и корректировку модели. Для упрощения и ускорения расчетов используются различные программные пакеты компьютерного и математического моделирования.

Существует большое количество весовых функций, от выбора которых зависят степень влияния на ДН, ширина основного луча, степень подавления боковых лепестков. После выбора функции производится расчёт коэффициентов, и в зависимости от них происходит расположение элемента в пространстве.

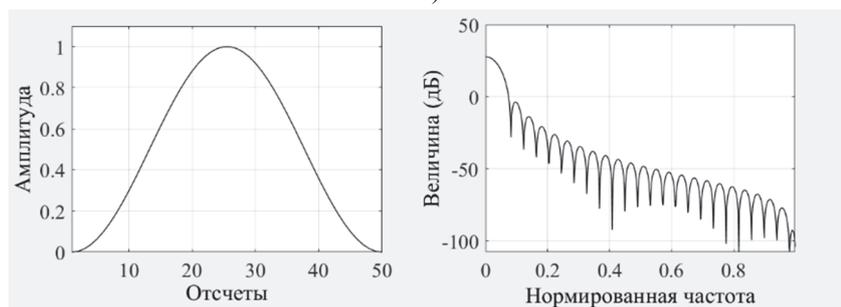
В программе MATLAB реализован расчет весовых функций для двумерной решетки с заданным количеством горизонтальных и вертикальных элементов и желаемым уровнем боковых лепестков [3]. На выбор предоставляется набор весовых функций: Хемминга, Чебышева, Ханна, Кайзера, Тейлора (рис. 2).



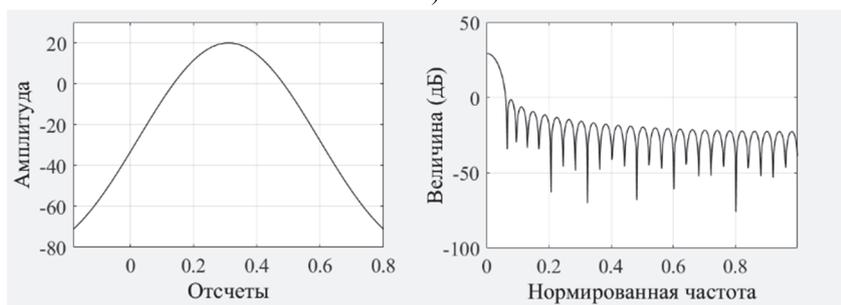
а)



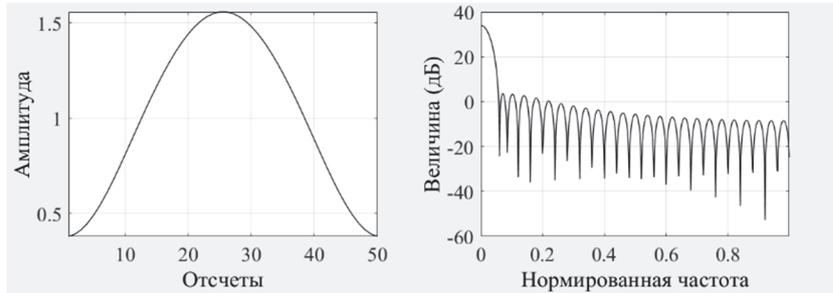
б)



в)



г)



д)

Рис. 2. Оконные функции: а – Хемминга, б – Чебышева, в – Ханна, г – Кайзера, д – Тейлора

Весовые функции выглядят следующим образом [3,4]:

- функция Хемминга (рис. 2 а):

$$\omega(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), \quad (1)$$

где n - номер элемента, а N – количество элементов;

- функция Чебышева (рис.2 б):

$$W(k) = -1^k \frac{\cos(N \cdot \arccos(B \cdot \cos\frac{\pi k}{N}))}{ch(B \cdot ch(B)^{-1})}, \quad (2)$$

$$B = ch\left(\frac{1}{N} ch(10^\alpha)^{-1}\right), \quad (3)$$

где α - параметр функции, связанный с уровнем боковых лепестков спектра соотношением $1dB = 20\alpha$; N - число элементов, а k - номер элемента;

- функция Ханна (рис. 2 в):

$$\omega(n) = 0.5 \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)\right), \quad (4)$$

где n - номер элемента, а N – количество элементов;

- функция Кайзера (рис. 2 г):

$$\omega_0(x) = \frac{J_0\left(\omega_\alpha \sqrt{\left(\frac{N}{2}\right)^2 - n^2}\right)}{J_0(\omega_\alpha * N/2)}, \quad (5)$$

где J_0 - модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка; n - номер элемента, а N – количество элементов;

- функция Тейлора (рис. 2 д):

$$\omega_T(t) = 1 + 2 \sum_{l=1}^{L_T-1} T(l, l_T) \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right), \quad (6)$$

где

$$T(l, l_T) = ch(\pi l_t) \frac{\sin \pi x}{\pi x} \frac{\prod_{l=1}^{L_T-1} \left\{ 1 - \frac{x^2}{\gamma_T^2 [l_T^2 + (l-0.5)^2]} \right\}}{\prod_{l=1}^{L_T-1} \left(1 - \frac{x^2}{l^2} \right)}, \quad (7)$$

L_T – число членов аппроксимации Тейлора; параметр l_T связан с уровнем боковых лепестков соотношением $L_T = \frac{1}{\pi} \text{Arcch}(\varepsilon_3)$, где $\varepsilon_3 = 10^{-r}$ – уровень боковых лепестков, переменная $x = \cos(\pi t/T)$ и $\gamma_T = L_T^2 / [l_T^2 + (L_T - 0.5)^2]$.

Из указанных выше графиков (рис. 2) частотной области весовых функций ((1), (3) - (6)) можно увидеть, что главное отличие между ними - ширина главного лепестка и подавление боковых лепестков ДН. Лучшее подавление боковых лепестков ДН обеспечивает функция Чебышева, однако, в сравнении с другими функциями распределения, она обладает большей шириной основного лепестка ДН, что может не удовлетворять требованиям некоторых задач. Поэтому выбор функции является индивидуальной задачей для конкретных технических требований.

Выбор производится в специально написанном нами интерфейсе программы (рис. 3).

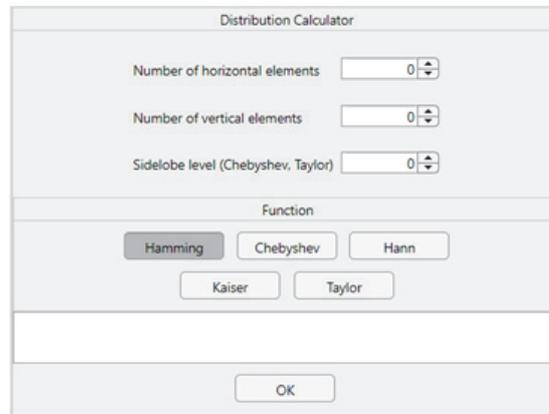


Рис. 3. Графический интерфейс для расчета коэффициентов

После выбора функции программа выбирает соответствующую формулу, по которой в соответствии с заданными характеристиками (количество элементов и уровень боковых лепестков) рассчитываются весовые коэффициенты. После расчета весовые коэффициенты записываются в текстовый файл для дальнейшего использования. Интерфейс дает возможность пользователю получить коэффициенты и использовать их в программах для моделирования без знаний программы MATLAB.

Численное моделирование щелевой антенной решетки в программе ALTAIR FEKO. Для построения модели с последующим математическим моделированием был выбран программный пакет FEKO [5], в котором присутствует возможность написания программ на языке Lua.

В редакторе скриптов FEKO написан код, автоматизирующий расчеты и построение щелевой решетки с возможностью использования ранее сгенерированного файла с распределениями. Для удобства ввода данных разработан графический интерфейс со следующими графами: центральная частота, путь к файлу с распределением, ширина волновода, глубина волновода, толщина стенки (рис. 4) [6].

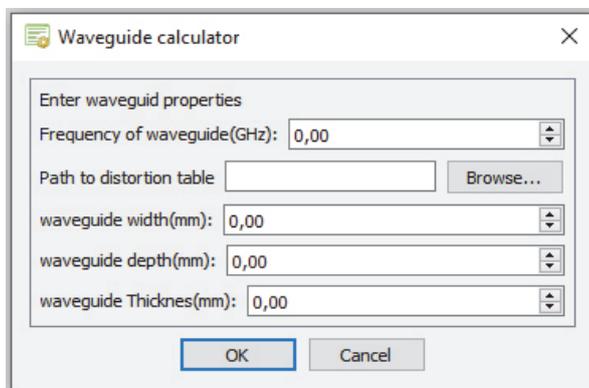


Рис. 4. Графический интерфейс для создания модели антенной решетки

После подтверждения ввода данных программный пакет FEKO начинает синтезировать модель щелевой антенной решетки.

Выбранная нами функция распределения применяется для определения расстояния от центральной оси волновода до щели (рис. 5). В данном случае выбрана функция Тейлора.



Рис. 5. Схема щелевой антенной решетки

Работа программы осуществляется по следующему алгоритму: после ввода исходных данных они записываются в переменные, после чего на основании количества элементов массива с коэффициентами распределения рассчитываются количество щелей и длина волновода, а на основании введенной частоты – размеры щели. Щели располагаются на широкой стенке волновода с удалением от его центральной оси согласно выбранному распределению.

Для реализации разработанной нами антенной решетки был выбран прямоугольный волновод с размерами в сечении 23 мм на 10 мм и толщиной стенок 1 мм. Исходя из количества элементов в файле весовых коэффициентов и частоты, рассчитаны высота волновода, количество щелей, их ширина и длина [5,6]. Далее расстояние при равномерном распределении перемножается на весовые коэффициенты, записанные в сохранённом файле. На рис. 6 изображен интерфейс FEKO с полученной нами АР, работающей на частоте 8,94 ГГц и состоящей из 12 щелей.

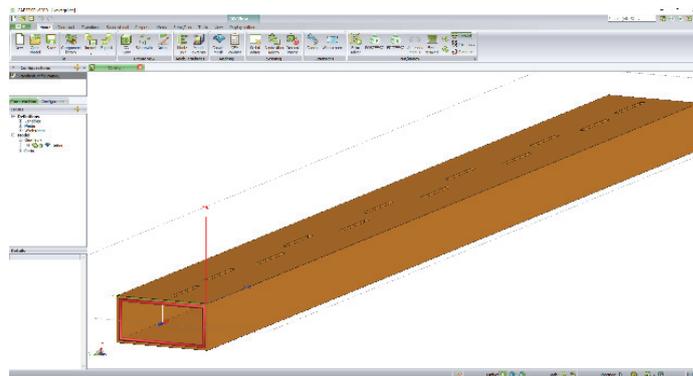


Рис. 6. Полученная щелевая антенная решетка

После создания модели проведено компьютерное численное моделирование в интерфейсе FEKO для определения параметров АР.

Усиление в основной лепестке ДН составляет 15 дБ, ширина основного луча в азимутальной плоскости – 7,2 градуса (рис. 7).

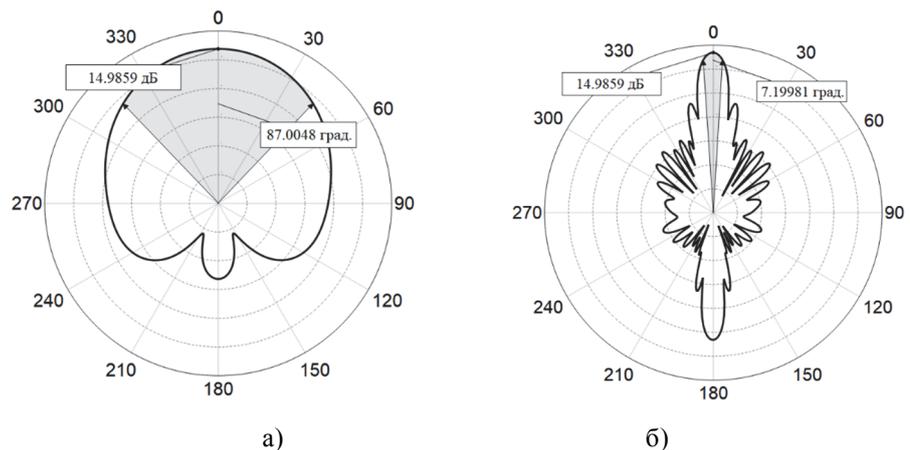


Рис. 7. Полученная диаграмма направленности: а – в угломестной плоскости, б – в азимутальной плоскости

Уровень первого бокового лепестка равен $-3,64$ дБи. Коэффициент стоячей волны (КСВ) на частоте $8,94$ ГГц равняется $1,5$ (рис. 8).

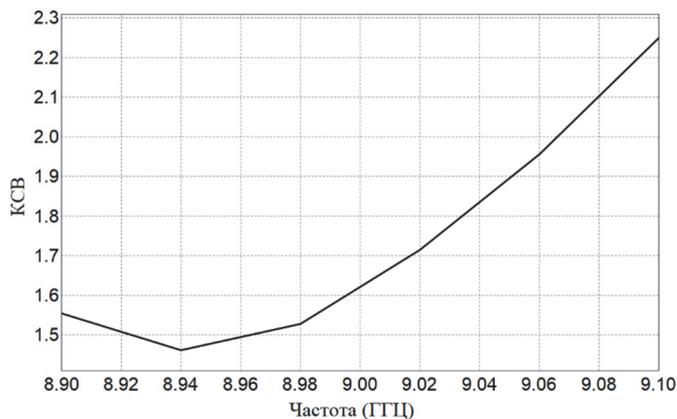


Рис. 8. КСВ в диапазоне $8,9 \dots 9,1$ ГГц

Заключение. Автоматизирован процесс расчета математической модели антенной решетки с использованием весовых функций. Разработаны алгоритмы и пользовательские интерфейсы, позволяющие вводить исходные данные для получения коэффициентов распределения и синтеза модели. Благодаря разработанным программам упростилось взаимодействие между программными пакетами для расчета весовых функций и программными пакетами для построения моделей, а также уменьшились временные затраты на расчет весовых коэффициентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарев Л.И.** Устройства СВЧ и антенны.-М.: Радиотехника, 2006. - 376 с.
2. **Barton D.K., Leonov S.A.** Radar technology encyclopedia. - Artech House Boston, 1998. –528 p.
3. <https://www.mathworks.com/help/matlab/> - MATLAB Documentation.
4. **Орлов В.С., Бондоренко В.С.** Фильтры на поверхностных акустических волнах. - М.: Радио и связь, 1984. - 272с.
5. <https://www.altairuniversity.com/wp-content/uploads/2015/03/UserManual.pdf>. User's Manual Suite 7.0 2014. - EM Software & Systems-S.A. (Pty) Ltd. - 281 p.
6. **Али Хармуш, Дана Баз Радван, Мустафа Зиадех.** Волноводно-щелевая антенна на согнутом прямоугольном волноводе. - T-Comm, N4. - 2013. - 50с.

Российско-Армянский университет, Ереванский научно-исследовательский институт систем связи. Материал поступил в редакцию 20.12.2020.

Ա.Ա. ՇՄԱՎՈՆՅԱՆ, Ա.Ի. ՏԻՄՈՏԻՆ, Ա.Կ. ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ
ՖԱԶԱՎՈՐՎԱԾ ԱՆՏԵՆԱՅԻՆ ՑԱՆՑԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ՝
ԾՐԱԳՐԱՎՈՐՄԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ

Ազդանշանի ընդունման և փոխանցման հետ կապված շատ առաջադրանքներում անհրաժեշտ է լինում օգտագործել փոքր լայնությամբ հիմնային ճառագայթ ունեցող անտենա: Այդպիսի առաջադրանքները հիմնականում կապված են օբյեկտների հայտնաբերման ճշտության, կապի հեռահարության, աղմուկակայունության և այլ պարամետրերի հետ: Հաշվարկների և մոդելի կառուցման գործընթացների օպտիմացման համար ստեղծվել են ծրագրերի պլգորիթմներ, որոնք հաշվում են բաշխման ֆունկցիաներ և ավտոմատ կերպով կառուցում անտենային ցանցի մոդելը՝ ըստ տրված բնութագրերի:

Առանցքային բառեր. ամպլիտուդային բաշխվածություն, ծրագրավորում, ֆազավորված անտենային ցանց, համակարգչային մոդելավորում:

A.A. SHMAVONYAN, A.I. TIMOTIN, A.K. AHARONYAN
DETERMINING THE PHASED ANTENNA ARRAY PARAMETERS
THROUGH PROGRAMMING

It is necessary to use antennas with narrow main beamwidths in many signal reception and transmission tasks mainly related to the object detection accuracy, range, noise resistance, and other parameters. To optimize the computational and model construction processes, program algorithms have been developed, which calculate distribution functions and automatically construct a geometric model of an antenna array according to the specified characteristics.

Keywords: amplitude distribution, programming, phased antenna array, computer modeling.