

# АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ АНТЕНН

Вишнякова Ю. В., Лучанинов А. И.  
Харьковский национальный университет радиозлектроники  
г. Харьков, пр. Ленина 14, 61166, Украина  
тел.: 057-7021430, e-mail: juvalort@gmail.com

**Аннотация** — Рассмотрен общий алгоритм проектирования микроволновых устройств, на основе которого разработан алгоритм проектирования реконфигурируемых антенн (РА). Рассмотрена математическая модель слабонаправленных проволочных антенн, показана её справедливость для реконфигурируемых структур, в состав которых включены как дискретные переключатели, так и аналоговые управляющие элементы.

## I. Введение

Ввиду тенденции к обеспечению многофункциональности современных радиотехнических устройств, а также в связи с необходимостью адаптации к сложной и непрерывно изменяющейся электромагнитной обстановке, всё более актуальным направлением развития антенной техники становится проектирование адаптивных и реконфигурируемых антенных систем на основе современных технических решений в области микроволновых устройств, в частности на основе фрактальных структур, микрополосковых структур с изменённой формой слоя металлизации (DGS), углеродных нанотрубок, с использованием сверхпроводящих материалов и переключающих элементов (PIN диодов, MEMS переключателей).

В существующей на данный момент литературе можно выделить два подхода к проектированию реконфигурируемых антенных систем. С одной стороны, множество работ посвящено реализации антенн, в которых посредством изменения геометрии (излучателя, и/или цепей согласования) осуществляется изменение выходных характеристик антенны (рабочего диапазона частот, поляризации, диаграммы направленности). Физически это реализуется за счёт включения в структуру излучателя (согласующей цепи) различного рода управляющих элементов (переменных емкостей и индуктивностей, варакторов, варикапов, PIN диодов, FET транзисторов, MEMS переключателей и т.п.). Посредством изменения состояния этих элементов осуществляется изменение геометрических размеров либо формы излучателя (цепей согласования), соответственно изменяется распределение тока вдоль проводников антенны и, следовательно, её выходные характеристики. В литературе данный подход широко представлен на примере различных фрактальных излучателей (проволочных, микрополосковых, щелевых), спиральных антенн, антенн с паразитными элементами и др.

Физическая реализация второго подхода к проектированию реконфигурируемых антенн (РА) аналогична рассмотренной выше. Разница состоит в том, что посредством изменения состояния управляющих элементов, входящих в структуру РА, осуществляется изменение количества антенных элементов (активных и/или пассивных). Такой подход можно считать продолжением развития и применения теории проектирования антенных решёток, и он является типичным при проектировании реконфигурируемых антенн для MIMO систем. Примером могут служить ESPAR антенны, матрицы патч-излучателей (pixel-patch структуры) и др.

Таким образом, в рассмотренных подходах к проектированию РА реконфигурируемость достигается либо за счёт изменения характеристик отдельного элемента антенны, либо за счёт изменения множителя решётки системы излучателей. В работах [1, 2] предложено использовать как конфигурацию решётки, так и характеристики отдельного элемента для совместной оптимизации параметров всей системы и получения требуемых выходных характеристик. При таком подходе используются обе степени свободы, что позволяет расширить область поиска приемлемых решений, удовлетворяющих заданным критериям качества, и соответственно, повысить эффективность решения многокритериальной задачи оптимизации геометрии РА.

## II. Алгоритм проектирования РА

Применительно к задаче структурного синтеза общий алгоритм проектирования антенн [3] может быть представлен следующим образом (рис.1):

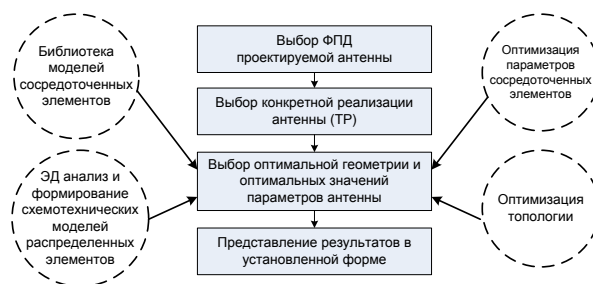


Рис. 1. Общий алгоритм проектирования антенн.

Fig. 1. General antenna design algorithm

Первый блок (выбор физического принципа действия, ФПД) в частности подразумевает выбор элементной базы проектируемого устройства (проволочные излучатели, микрополосковые и т.п.) Второй блок (выбор технического решения, ТР) включает выбор конкретного типа антенны (вибраторная, фрактальная, щелевая, микрополосковый патч, перевернутая F и т.п.) Третий блок включает в себя решение задач параметрического и структурного синтеза проектируемой антенны в рамках выбранного технического решения в соответствии с заданными критериями качества (например, требуемыми значениями выходных параметров антенны, таких как частотная зависимость входного сопротивления, диаграмма направленности, коэффициент усиления). То есть с помощью различных алгоритмов поиска осуществляется выбор оптимальных значений параметров сосредоточенных элементов антенны и оптимальной топологии.

Алгоритм проектирования реконфигурируемых антенн представлен на рис. 2.

## III. Математическая модель РА

Математическая модель реконфигурируемой антенны произвольной конфигурации была представлена в работах [4, 5].

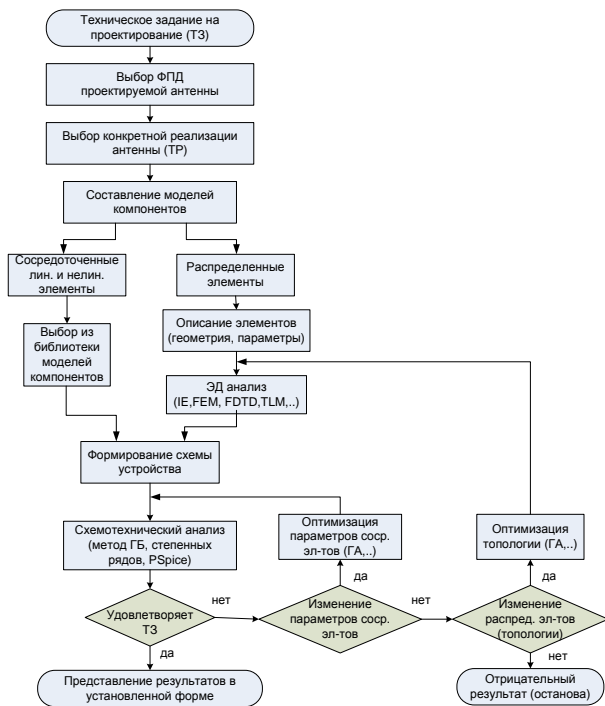


Рис. 2. Алгоритм проектирования РА.

Fig. 2. Reconfigurable antenna design algorithm

Используемая математическая модель основана на методе интегральных уравнений. Реализуется решение интегрального уравнения Поклингтона относительно распределения токов вдоль проводников антенной системы при помощи метода Галёркина с последующим определением параметров и характеристик антенной системы (матрицы собственных и взаимных сопротивлений относительно входов антенны, диаграммы направленности антенны).

При этом антенная структура представляется в виде соединённых определённым образом прямолинейных отрезков тонких цилиндрических проводников, радиус которых много меньше длины волны и длины наименьшего прямолинейного отрезка провода (тонкопроволочное приближение).

В процессе решения ток ветвей аппроксимируется некоторым числом базисных функций (кусочно-синусоидальных функций подобластей), которые определены на элементарных прямолинейных отрезках - сегментах.

В программной реализации алгоритма оптимизации структуры РА, предложенной в работе [6], параметры управляющих элементов, входящих в состав антенны, представляются в виде двоичных чисел с требуемой точностью, которая определяется количеством бит, выделенных для кодирования каждого из параметров. При таком подходе в исходной математической модели РА [4] элементы диагональной матрицы сопротивлений переключающих элементов будут принимать значения не только «включен/ выключен» (то есть «0/1»), но и отличные от «0» и «1» значения.

#### IV. Заключение

В докладе рассмотрен общий алгоритм проектирования антенн, на основе которого разработан и представлен алгоритм проектирования реконфигурируемых антенн.

Рассмотрена математическая модель для слабо-направленных проволочных РА. Показано, что данная модель справедлива для случая, когда в структуру РА включены как дискретные переключатели, так и аналоговые управляющие элементы.

#### V. Список литературы

- [1] Multifunctional reconfigurable MEMS integrated antennas for adaptive MIMO systems / Bedri Artug Cetiner, Hamid Jafar-khani, Jianguan Qian, Hui Jae Yoo, Alfred Grau, Franco De Flaviis // IEEE Commun. Mag. 2004. Vol. 42. No. 12. P. 62—70.
- [2] Сидоров Я.Г., Лучанинов А.И. Адаптивные антенные решетки с реконфигурируемыми антенными элементами // 17-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМи-Ко)2007 : материалы конф. в 2 т. (Севастополь, 10—14 сент. 2007 г.). Севастополь : Вебер, 2007. Т. 1. С. 390—391.
- [3] Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании) / Поповкин А.И. и др. М. : Радио и связь, 1981. 344 с.
- [4] Математическая модель реконфигурируемых антенн / А.И. Лучанинов, Д.С. Гавва, Е.В. Крикун, Ю.В. Скорикова // Радиотехника. 2010. № 161. С. 25—36.
- [5] Структурный синтез реконфигурируемых антенн / А.И. Лучанинов, Д.С. Гавва, Е.В. Крикун, Ю.В. Скорикова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. № 4/9(46). С. 28—34.
- [6] Вишнякова Ю.В. Реализация генетического алгоритма для синтеза реконфигурируемых антенн // 8-я Международная молодежная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2012» : материалы конф. (Севастополь, 23—27 апр. 2012 г.). Севастополь : СевНТУ, 2012. С. 201.

## RECONFIGURABLE ANTENNA DESIGN ALGORITHM

Vishniakova J. V., Luchaninov A. I.  
 Kharkov National University of Radioelectronics  
 14, Lenin Ave, Kharkov, 61166, Ukraine  
 Ph.: 057-7021430, e-mail: juvalort@gmail.com

**Abstract** — The general RF device design algorithm is examined, on the basis of which a reconfigurable antenna (RA) design algorithm is developed. A mathematical model of near-omnidirectional thin-wire reconfigurable antennas is presented based on the integral equation method. The validity of the model for reconfigurable structures containing both analog driven elements and discrete switching elements is shown.

#### I. Introduction

Considering the tendency to provide multifunctionality of modern microwave devices and the necessity of adaptation to complex ever changing electromagnetic environments, the adaptive and reconfigurable antenna systems design problem becomes more and more actual. The search for appropriate designs should be realized in the area of modern engineering solutions in the field of microwave devices, including fractal structures, defected ground structures (DGS), carbon nanotubes, superconducting materials, switching elements (e.g., PIN diodes, RF MEMS), etc.

#### II, III. Main Part

Concerning the structural synthesis problem, the RA design algorithm includes selection of the physical concept (elemental base), technical solution (antenna type), parametric and structural synthesis in accordance with the specified quality criteria.

#### IV. Conclusion

A RA design algorithm is developed. The validity of the proposed mathematical model for reconfigurable structures containing both analog driven elements and discrete switching elements is shown.