

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ДУГОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Ерохин А. А.,

научный руководитель канд. техн. наук Панько В. С.

Сибирский федеральный университет

Логопериодические антенны (ЛПА) могут обеспечивать равномерность электрических характеристик (коэффициент направленного действия, входное сопротивление) в широкой полосе частот, при этом возможно создание антенн с коэффициентом перекрытия по диапазону частот, достигающим 10. Интерес также представляют дуговые антенные решетки (АР), составленные из ЛПА. Как показано в [1] и [2], АР такого типа могут обеспечивать узконаправленную ДН в широком диапазоне частот с возможностью азимутального сканирования.

В рамках данного исследования проведем математическое моделирование и моделирование в среде NEC характеристик таких ЛПА и АР.

ЛПА описывается параметрами: τ – знаменатель геометрической прогрессии длин вибраторов и расстояний между ними; σ – коэффициент-расстояние в длинах волн между полуволновым в середине диапазона вибратором и меньшим, соседним с ним; N – количество вибраторов. Длина L ЛПА определяется параметрами τ и σ , а также количеством элементов.

Численная модель и программа расчета характеристик одиночных ЛПА в среде MathCAD описана в [3]. В результате расчета по заданным параметрам ЛПА определяются токи в вибраторах, ДН и другие характеристики ЛПА.

Рассмотрим, каким образом может быть вычислена диаграмма направленности АР, образованной такими ЛПА. Геометрия дуговой АР представлена на рисунке 1. АР состоит из M одинаковых элементов, имеющих номера $m=1..M$. Каждый из элементов представляет собой ЛПА, ориентированную в вертикальной плоскости, то есть вибраторы ЛПА параллельны оси OZ , причем высокочастотная часть ЛПА обращена к центру дуги. Этим обеспечивается постоянство электрических размеров АР при изменении частоты.

Простейшим вариантом дуговой АР является симметричная относительно оси OX АР с одинаковыми углами между элементами. Ее размеры определяются следующим образом. Пусть M_0 — количество элементов в «полной» кольцевой АР, а дуговая АР

представляет собой «вырезку» из нее. Тогда $\gamma_0 = \frac{2\pi}{M_0}$ — угол между осями элементов

АР, а $\alpha_m = \gamma_0 \left(m - \frac{M-1}{2} \right)$ — угол между осью m -го элемента и осью OX . Если r_0 —

радиус дуги АР, проведенной по центрам высокочастотных вибраторов, то $R_0 = r_0 + L$ — радиус дуги АР, проведенной по центрам низкочастотных вибраторов, L — длина элемента АР. Координаты опорной точки (центр низкочастотного вибратора) m -го элемента АР: $X_{0m} = R_0 \cos \alpha_m$, $Y_{0m} = R_0 \sin \alpha_m$.

Так как все элементы АР одинаковы, то координаты каждого из вибраторов, составляющих АР, можно найти по координатам исходной ЛПА следующим образом: $y_{m,n} = -x_n \sin \alpha_m + Y_{0m}$, $x_{m,n} = -x_n \cos \alpha_n + X_{0m}$, где x_n — положение n -го вибратора исходной ЛПА вдоль ее оси, N — количество вибраторов в ЛПА. Для самого

низкочастотного вибратора исходной ЛПА $x_n = 0$, для высокочастотного вибратора $x_N = L$.

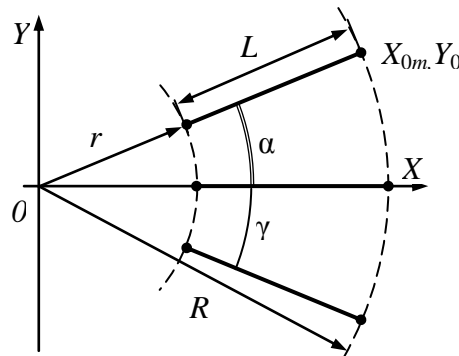


Рисунок 1 – Дуговая АР

Определив координаты вибраторов, несложно вычислить общую ДН антенной решетки по теореме перемножения. ДН n -го вибратора исходной ЛПА описывается выражением

$$F_n(\theta, \varphi) = \dot{I}_n \frac{\cos(kh_n \cos \theta - \cos kh_n)}{\sin \theta \cos kh_n},$$

где h_n — длина плеча вибратора, $k = 2\pi/\lambda$. Так как все элементы АР одинаковы, то совпадают и ДН их отдельных вибраторов, то есть $F_{m,n}(\theta, \varphi) = F_n(\theta, \varphi)$. Окончательно, ДН АР:

$$F(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M F_n(\theta, \varphi) e^{-jk\Delta r_{m,n}},$$

$$\Delta r_{m,n} = x_{m,n} \sin \theta \cos \varphi + y_{m,n} \sin \theta \sin \varphi,$$

где $\Delta r_{m,n}$ — разность хода для отдельных вибраторов, составляющих АР.

Проведем расчет характеристик ЛПА и АР в диапазоне коротких волн (3-30 МГц) на основе описанной модели. ЛПА с параметрами $\tau = 0,75$; $\sigma = 0,13$ состоит из $N = 12$ вибраторов и имеет длину $L = 50$ м. Вид данной антенны приведен на рисунке 2.

На рисунках 3-5 показаны графики распределения тока по вибраторам ЛПА рассчитанные при помощи математической модели и в САПР NEC, причем здесь и далее сплошная линия – модель, пунктир – САПР NEC. На рисунке 6 приведены зависимости входного сопротивления антенны от частоты.

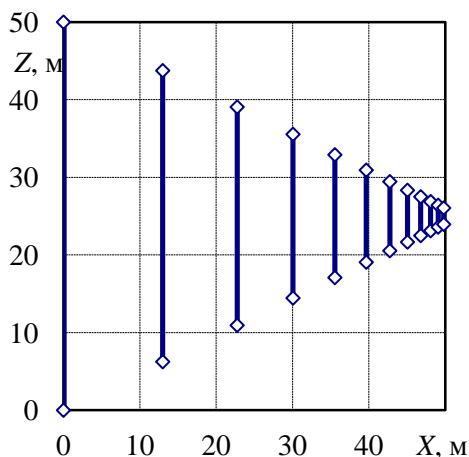


Рисунок 2 – Логопериодическая антенна

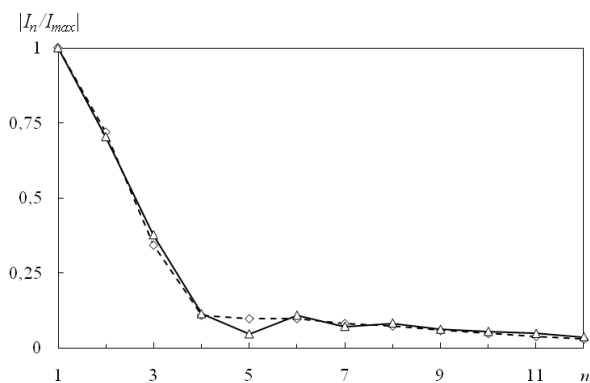


Рисунок 3 – Распределение тока на частоте 3 МГц

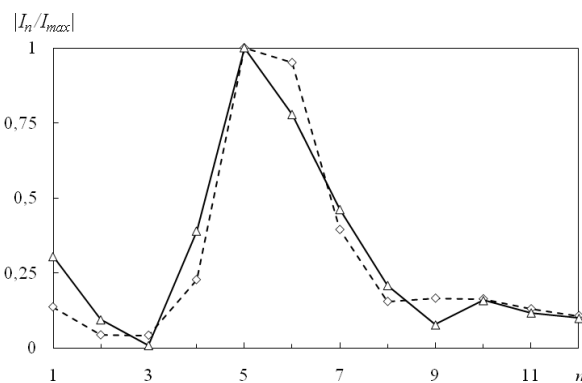


Рисунок 4 – Распределение тока на частоте 9,5 МГц

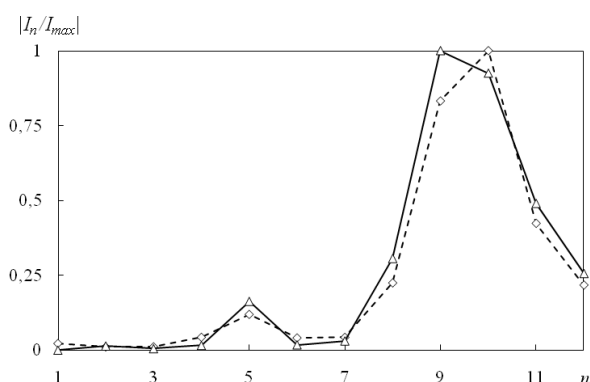


Рисунок 5 – Распределение тока на частоте 30 МГц

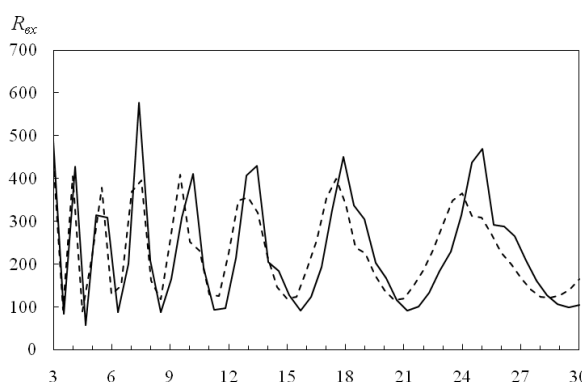


Рисунок 6 – Входное сопротивление антенны

Как видно, зависимости тока и входного сопротивления для рассмотренных моделей достаточно хорошо совпадают. На графиках распределения тока активными являются вибраторы с одинаковыми номерами, и совпадают пики частотной характеристики. Отсюда можно сделать вывод о применимости математической модели для расчета антенных решеток, состоящих из ЛПА.

Далее проведем моделирование дуговой АР, показанной на рисунке 7. АР состоит из четырех одинаковых ЛПА, рассчитанных выше. Угол между осями ЛПА $\gamma_0 = 22,5^\circ$, что соответствует 16-элементной кольцевой АР, внутренний радиус $r_0 = 15$ м.

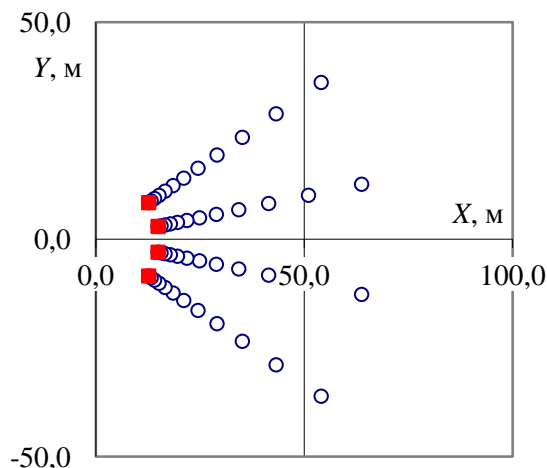


Рисунок 7 – 4-элементная дуговая антенная решетка

Диаграммы направленности антенной решетки в горизонтальной плоскости, вычисленные в САПР GNEC и при помощи описанной модели, приведены на рисунках 8-10.

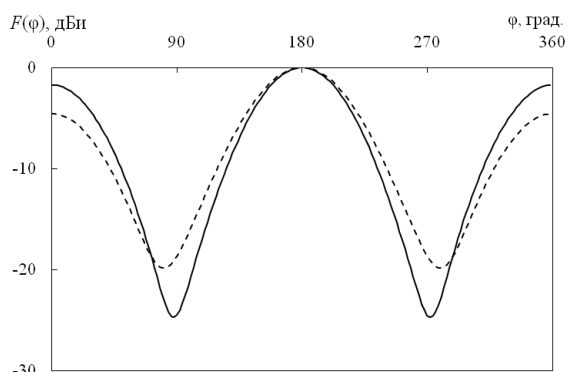


Рисунок 8 – Диаграммы направленности на частоте 3 МГц

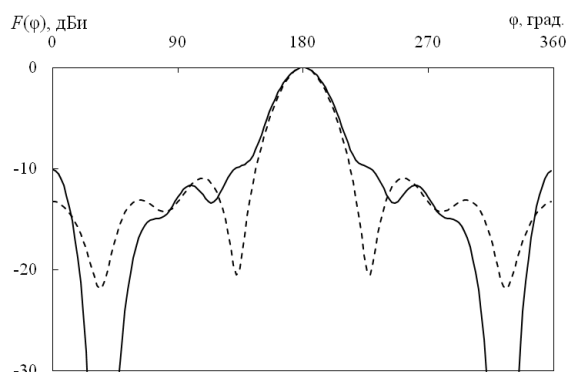


Рисунок 9 – Диаграммы направленности на частоте 9,5 МГц

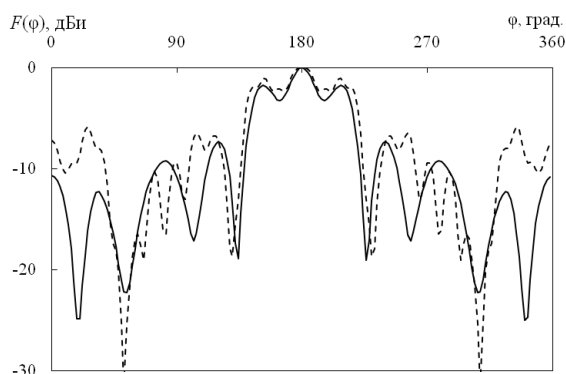


Рисунок 10 – Диаграммы направленности на частоте 30 МГц.

Как видно из представленных графиков, наблюдается удовлетворительное совпадение ДН, вычисленных по двум моделям в пределах главного и ближайших к нему боковых лепестков. Таким образом, предложенную модель можно использовать для быстрой оценки формы ДН при проектировании различных типов дуговых антенных решеток; при этом существенно увеличивается удобство и скорость расчетов по сравнению с моделированием в GNEC.

1. Сверхширокополосные дуговые фазированные антенные решетки КВ-диапазона на основе логопериодических излучателей / В. С. Панько, Ю. П. Саломатов, М. И. Сугак. Электросвязь №8/2011. С. 38-43.

2. Length of Log-Periodic Antennas for Arc and Circular Arrays in High Frequency Band / V. S. Panko, Yu. P. Salomatov, M. I. Sugak // 2011 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. – Krasnoyarsk: Siberian Federal University. Russia, Krasnoyarsk, September 15–16, 2011. 165-167 pp.

3. Петров Б. М., Костромитин Г. И., Горемыкин Е. В. Логопериодические вибраторные антенны: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 239 с.