

## Линейная антенная система коротковолнового диапазона на основе излучателей типа «бабочка»

В.П. Кудин

Предложена широкополосная линейная антенная решетка вертикальной поляризации коротковолнового диапазона из излучателей типа «бабочка». Данный излучатель представляет собой модифицированную плоскую проволочную антенну. Однонаправленность излучения обеспечивается с помощью аперического рефлектора. Характерной особенностью предложенной решетки является то, что соседние излучатели гальванически соединены друг с другом. Это приводит к улучшению радиотехнических характеристик и дает несомненные конструктивные и экономические преимущества – отсутствие высокочастотных изоляторов, простоту реализации грозозащиты и уменьшение стоимости. Проведено электродинамическое моделирование линейной антенной системы. Показано, что восьмиэлементная решетка обеспечивает сканирование в секторе углов до 45 градусов от нормали к плоскости решетки в диапазоне частот 5–7,8 МГц.

**Ключевые слова:** фазированная антенная решетка, численные методы, интегральные уравнения, тонкопроволочный излучатель, коротковолновый диапазон.

The broadband linear antenna array of vertical polarization for a short-wave band operation consisting of "butterfly" radiators is offered. The given radiator represents the modified flat wire antenna. The one-sided radiation pattern is provided by means of a periodic reflector. The specific feature of the offered array is that the adjacent radiators are galvanically connected with each other. It provides the improvement of radio engineering characteristics and obvious constructive and economic advantages – absence of high-frequency insulators, lightning guard and cost reduction. Electrodynamics modeling is spent. It is shown, that the eight-element array provides scanning up to 45 degrees from a normal to array plane in the frequency band 5–7.8 MHz.

**Keywords:** phased array, numerical methods, integral equations, thin wire radiator, short-wave band.

**Введение.** Антенны коротковолнового диапазона для загоризонтных радиолокаторов традиционно строятся на основе линейных решеток логопериодических антенн. Логопериодические антенны имеют хорошие радиотехнические характеристики, однако представляют собой объемную конструкцию, что влечет серьезные материальные затраты на изготовление, монтаж и эксплуатацию антенны. В данной работе для этих целей предлагается использовать линейную решетку из излучателей типа «бабочка». Конструкция такой решетки является плоскостной и, следовательно, требует меньшее количество опор.

**Основная часть.** Излучающая часть антенной системы построена на основе излучателей типа «бабочка» (рисунок 1). Данные излучатели представляют собой модифицированные плоские вертикальные вибраторы. Отличие от известных излучателей такого типа [1] состоит в измененной топологии расположения проводов внутри излучателя, что позволило получить более равномерные входные и внешние характеристики в полосе частот и секторе углов сканирования. Излучатели решетки возбуждаются с помощью блоков симметрирования, совмещенных с согласующими устройствами.

Кроме того, края излучателей типа «бабочка» в линейной решетке гальванически соединены друг с другом, т. е. представляют собой так называемые «coupled antenna» [2], что позволяет избавиться от большого количества высокочастотных изоляторов и упростить монтаж и эксплуатацию антенной системы. Также это приводит к очень простому решению в части грозозащиты.

Для обеспечения однонаправленного излучения излучатели располагаются перед проволочным рефлектором (рисунок 2).

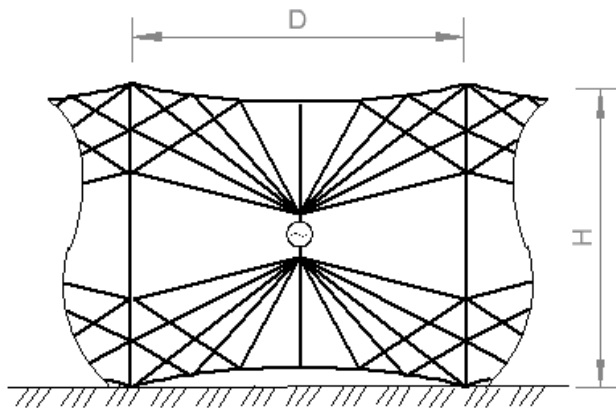


Рисунок 1 – Геометрия излучателя

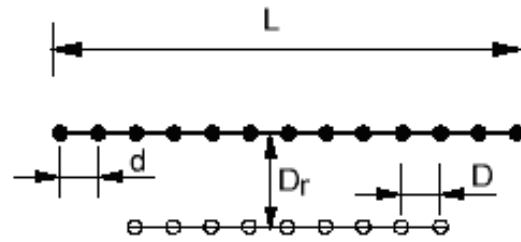


Рисунок 2 – Антенная решетка перед рефлектором

Электродинамическое моделирование антенной системы проводилось методом интегральных уравнений в приближении осевого тока. В качестве базисных и весовых функций использовались кусочно-синусоидальные (метод Галеркина), поле от которых выражается в замкнутом виде. Это позволяет при вычислении элементов обобщенной матрицы взаимных импедансов ограничиться лишь однократными интегралами, что приводит к существенной экономии машинного времени. Подробности алгоритма, реализованного в виде комплекса вычислительных программ для произвольной системы прямолинейных проводников, приведены в [3], [4].

Входы излучателей возбуждались падающими волнами равной амплитуды с линейным набегом фазы, обеспечивающим синфазное сложение полей в заданном азимутальном направлении, отсчитываемым от нормали к плоскости решетки (угол сканирования). Исследовались входные импедансы каждого излучателя в решетке и уровень их согласования (коэффициент стоячей волны), а также диаграммы направленности решетки в вертикальной и горизонтальной плоскостях для различных направлений фазирования.

Расчеты проводились в диапазоне частот 5–7.7 МГц (перекрытие по частоте 1,54:1) и секторе углов сканирования  $\pm 50^\circ$ . При этом предполагалось, что вся система находится над идеально проводящим экраном. Рассматривалась восьмиэлементная антенная решетка, выполненная (так же, как и рефлектор) из проводников диаметром 6 мм. Шаг решетки  $D = 23$  м выбирался из условия обеспечения однолучевого сканирования в секторе углов  $\pm 40^\circ$  от нормали к плоскости решетки. Густота проводов рефлектора, его длина и высота определялись исходя из требования получения необходимого уровня подавления излучения в заднем полупространстве. Численно установлено, что приемлемые характеристики получаются при расстоянии между проводами 1,1 м, длине и высоте рефлектора 207 м и 23 м соответственно.

На рисунке 3 представлены частотные зависимости входного импеданса отдельных излучателей решетки. В целом действительная часть входного импеданса лежит в пределах 150–200 Ом, а мнимая – в пределах 50–100 Ом, и, следовательно, возникает необходимость в использовании согласующего устройства. В этом заключается определенный недостаток по сравнению с логопериодической антенной. Также следует отметить невысокую широкополосность рассматриваемой антенны – всего лишь полуторакратное перекрытие. Вместе с тем, как уже указывалось, решетка излучателей типа бабочка обладает несомненным конструктивным достоинством – плоскостностью конструкции, в отличие от объемной конструкции решетки логопериодических антенн.

Диаграммы направленности решетки в горизонтальной и вертикальной плоскостях для трех углов сканирования на средней частоте рабочего диапазона представлены на рисунках 4 и 5. Решетка имеет хорошо сформированные диаграммы направленности со стандартным уровнем первого бокового лепестка минус 13 дБ и уровнем заднего излучения не более минус 18 дБ.

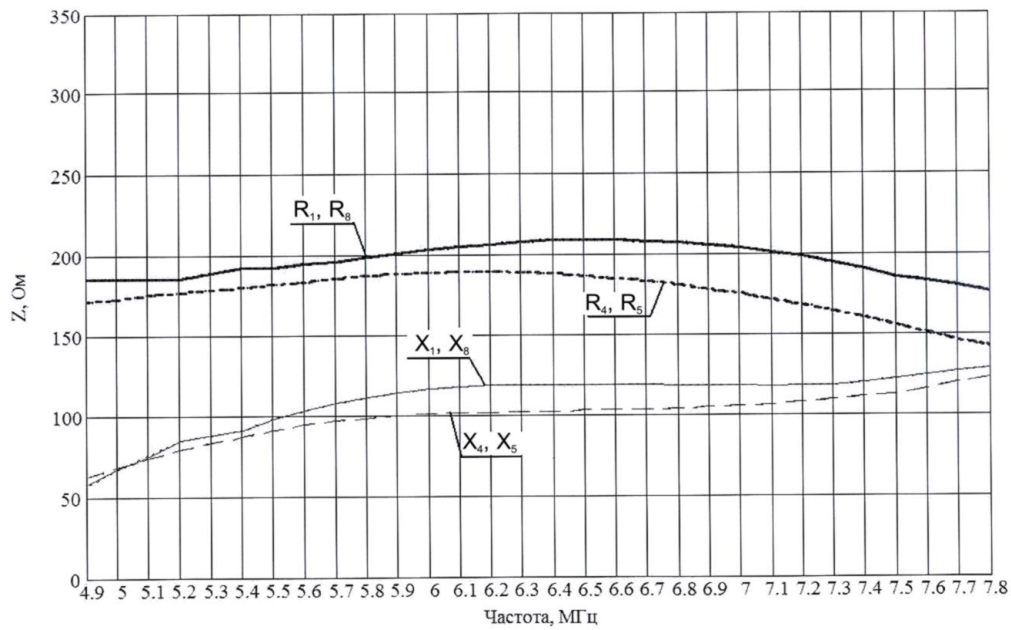


Рисунок 3 – Частотные зависимости входного импеданса отдельных излучателей решетки

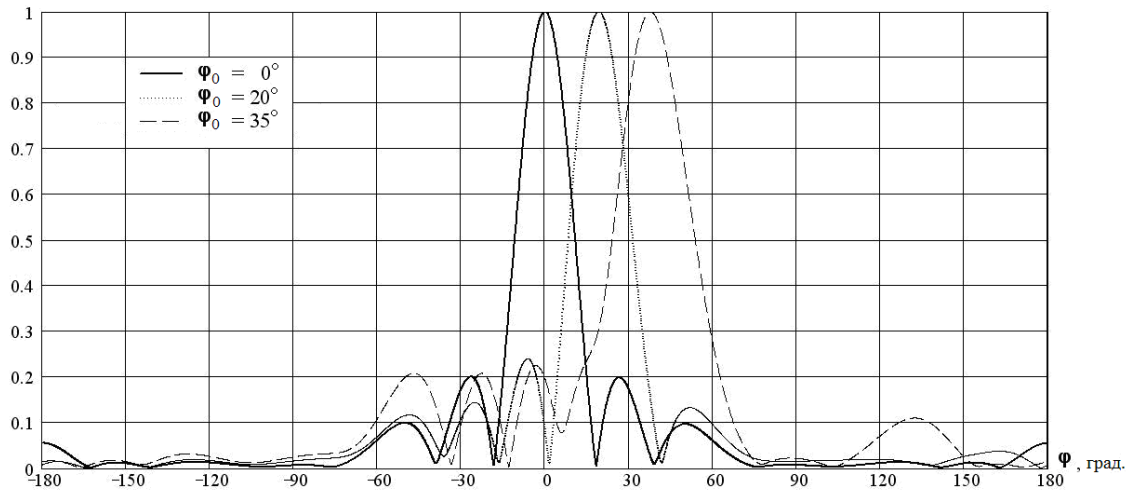


Рисунок 4 – Диаграммы направленности в горизонтальной плоскости на частоте 6,35 МГц

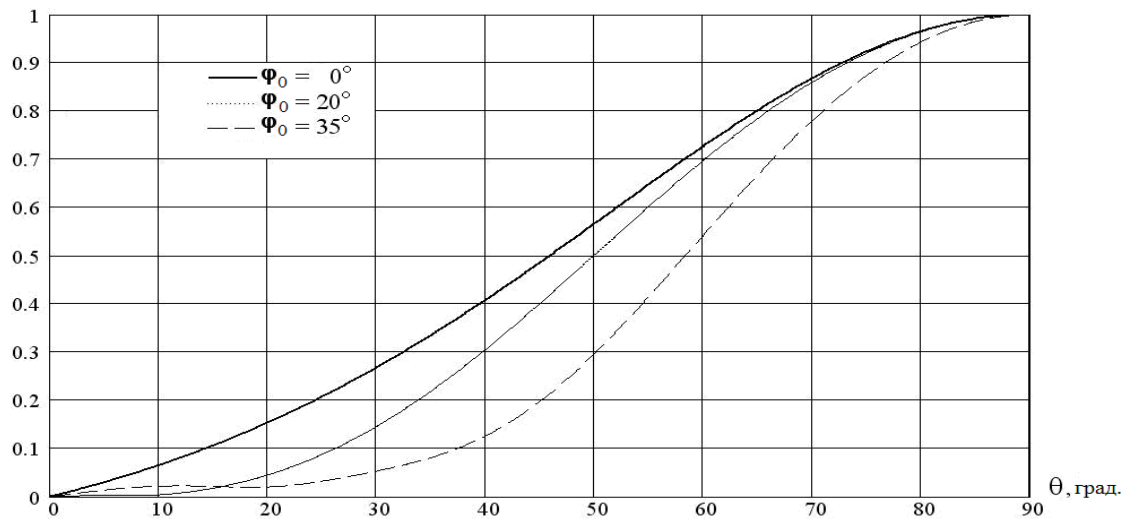


Рисунок 5 – Диаграммы направленности в вертикальной плоскости на частоте 6,35 МГц

Частотные зависимости коэффициента направленного действия решетки при различных углах сканирования представлены на рисунке 6.

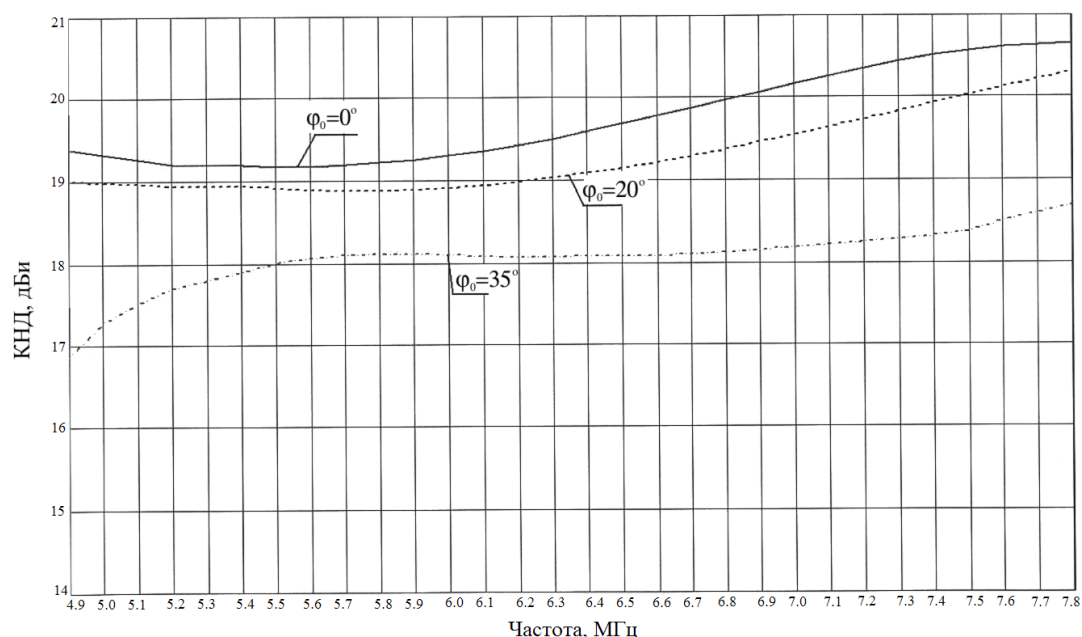


Рисунок 6 – Частотные зависимости коэффициента направленного действия решетки при различных углах сканирования

**Заключение.** Анализ полученных результатов показывает, что рассматриваемая антенная система имеет следующие характеристики:

- Диапазон рабочих частот – 5,0–7,7 МГц.
- Сектор углов сканирования –  $80^\circ (\pm 40^\circ)$ .
- Ширина неотклоненного луча в диапазоне рабочих частот –  $16,0\text{--}10,5^\circ$ .
- Уровень задних лепестков азимутальной диаграммы направленности – не более минус 18 дБ.
- Коэффициент направленного действия – не менее 17,3–18,7 дБ.
- Коэффициент стоячей волны (по ансамблю излучателей) – не более 1,4.

Достоинством антенной системы является «плоскостность» конструкции, требующая небольшого количества опор, а также отсутствие высокочастотных изоляторов, что в целом приводит к хорошим экономическим показателям.

### Литература

1. Айзенберг, Г.З. Коротковолновые антенны / Г.З. Айзенберг, С.П. Белоусов, Э.М. Журбенко [и др.] ; под ред. Г.З. Айзенберга. – М. : Радио и связь, 1985. – 536 с.
2. Hansen, R.C. Phased array antennas, Second Edition / R.C. Hansen. – New York : John Wiley & Sons, Inc., 2009. – 548 p.
3. Кудин, В.П. Анализ произвольных проволочных структур из прямолинейных проводников. Часть 1 : Вычисление матрицы взаимных импедансов / В.П. Кудин // Антенны. – 2007. – Вып. 9 (124). – С. 6–11.
4. Кудин, В.П. Анализ произвольных проволочных структур из прямолинейных проводников. Часть 2 : Учет потерь в проводниках и произвольного падающего поля / В.П. Кудин // Антенны. – 2007. – Вып. 9 (124). – С. 12–16.