



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
H01Q 21/20 (2019.08); H01Q 3/34 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019116239, 27.05.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
27.05.2019

Дата регистрации:  
03.02.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.05.2019

(45) Опубликовано: 03.02.2020 Бюл. № 4

Адрес для переписки:  
394026, г. Воронеж, Московский пр-кт, 76,  
генеральному директору АО "ВНИИ "Вега"  
Штефану В.И.

(72) Автор(ы):

Белозерцев Юрий Васильевич (RU),  
Тюленев Сергей Игоревич (RU),  
Верейтин Владимир Владимирович (RU),  
Борисов Артем Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество "Воронежский  
научно-исследовательский институт "Вега"  
(АО "ВНИИ "Вега") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2619445 C1, 15.05.2017. RU  
2680732 C1, 26.02.2019. RU 2091928 C1,  
27.09.1997. US 4639732 A1, 27.01.1987.  
ТЮЛЕНЕВ С.И., АЛЬ ХАФАДЖИ  
САРМАД К.Д. "МОДЕЛИРОВАНИЕ  
КОЛЬЦЕВОЙ ФАЗИРОВАННОЙ  
АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ НА ОСНОВЕ  
ЕДИНИЧНОГО ЭЛЕМЕНТА"  
(ИНФОРМАТИКА: ПРОБЛЕМЫ,  
МЕТРОЛОГИЯ, ТЕХНОЛОГИИ; ИЗД.:  
ООО "ВЭЛБОРН", ВОРОНЕЖ, 05.02.2018).

(54) Способ формирования диаграммы направленности кольцевой фазированной антенной решетки

(57) Реферат:

Изобретение относится к средствам радиосвязи, а именно к направленным цифровым фазированным антенным решеткам с кольцевой структурой, и предназначено для обеспечения радиосвязи в составе аппаратуры базовых станций и ретрансляторов. Технический эффект, заключающийся в снижении энергопотребления за счёт оптимизации числа работающих излучателей в секторе, охватывающем направление максимума излучения основного лепестка диаграммы направленности (ДН) антенны, достигается за счёт того, что напряжение подают на все единичные излучатели внутри углового сектора  $\phi_k$ , расположенные

симметрично относительно направления максимума излучения основного лепестка ДН, а величину углового сектора  $\phi_k$  выбирают из условия:

$$V_{DN} + \phi_1 < \phi_k \leq 2V_{DN} + \phi_1, \text{ где } V_{DN} -$$

ширина ДН единичного излучателя КФАР, град; N - число единичных излучателей в КФАР; K - число единичных излучателей внутри углового сектора  $\phi_k$ ;  $\phi_1 = 360^\circ/N$  - угол сектора, приходящийся на единичный излучатель в КФАР, град, при этом подачу и управление фазой напряжения упомянутых излучателей осуществляют единым диаграммообразующим устройством. 2 ил.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H01Q 21/20* (2006.01)  
*H01Q 3/34* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*H01Q 21/20 (2019.08); H01Q 3/34 (2019.08)*

(21)(22) Application: **2019116239, 27.05.2019**

(24) Effective date for property rights:  
**27.05.2019**

Registration date:  
**03.02.2020**

Priority:

(22) Date of filing: **27.05.2019**

(45) Date of publication: **03.02.2020** Bull. № 4

Mail address:

**394026, g. Voronezh, Moskovskij pr-kt, 7b,  
generalnomu direktoru AO "VNII "Vega" Shtefanu  
V.I.**

(72) Inventor(s):

**Belozertsev Yuriy Vasilevich (RU),  
Tyulenev Sergej Igorevich (RU),  
Vereitin Vladimir Vladimirovich (RU),  
Borisov Artem Alekseevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Aksionernoe obshchestvo "Voronezhskij  
nauchno-issledovatel'skij institut "Vega" (AO  
"VNII "Vega") (RU)**

(54) **METHOD OF FORMING A BEAM PATTERN OF A RING PHASED ANTENNA ARRAY**

(57) Abstract:

FIELD: radio engineering and communication.

SUBSTANCE: invention relates to radio communication means, specifically directed digital phased antenna arrays with a ring structure, and is intended to provide radio communication in equipment of base stations and retransmitters. Technical effect is achieved due to that voltage is supplied to all single radiators inside angular sector  $\varphi_K$ , arranged symmetrically relative to direction of maximum radiation of main lobe BP, and value of angular sector  $\varphi_K$  is selected from the condition:

$V_{DN+\varphi_1 < \varphi_K \leq 2V_{DN+\varphi_1}$ , where  $V_{DN}$  is the width of the BP of the single RPAA emitter, deg; N is number of single radiators in RPAA; K is number of single radiators inside angular sector  $\varphi_K$ ;  $\varphi_1 = 360^\circ / N$  – sector angle per unit emitter in RPAA, deg, note here that said emitters are fed and controlled by single beam-forming device.

EFFECT: reduced power consumption due to optimization of the number of operating emitters in the sector covering the direction of radiation main lobe maximum of the antenna beam pattern (BP).

1 cl, 2 dwg

RU 2 712 987 C1

RU 2 712 987 C1

Изобретение относится к средствам радиосвязи, а именно к направленным цифровым фазированным антенным решеткам с кольцевой структурой.

Одной из важных задач при формировании диаграммы направленности (ДН) кольцевой фазированной антенной решетки является выбор режима питания излучателей. В процессе движения луча изменение фаз токов в излучателях подбирают таким образом, чтобы питание каждого было пропорционально той доле, которую он вкладывает в суммарное излучение антенны. Подбором работающих излучателей достигается максимальный уровень излучения основного лепестка ДН антенны при минимальном уровне боковых лепестков ДН. От количества излучателей, на которые подается напряжение, зависит не только выполнение условия единственности основного лепестка, но и энергопотребление при заданном уровне выходной мощности антенны.

Известен способ формирования диаграммы направленности кольцевой фазированной антенной решетки (КФАР) с направленными единичными антенными излучателями, предусматривающий подачу напряжения на единичный излучатель, направление максимума основного лепестка ДН которого совпадает с направлением максимума основного лепестка ДН антенны, и на соседние с ним слева и справа  $N$  единичных излучателей, где  $N=3$  или  $N=4$  (описание к патенту US 4021813 (A), МПК H01Q 13/18; H01Q 21/20; H01Q 3/24; H01Q 3/38; H01Q 3/26).

В известном способе определено оптимальное количество излучателей для получения максимального усиления основного лепестка ДН, на которые подается напряжение, только для 36 элементной КФАР. Это ограничивает возможности его использования для формирования ДН КФАР с другими геометрическими параметрами, с числом единичных излучателей в КФАР, отличным от 36.

Известен способ формирования диаграммы направленности кольцевой фазированной антенной решетки (КФАР) с направленными единичными антенными излучателями, предусматривающий электронное управление напряжением, подаваемом на активные излучатели внутри выбранного углового сектора  $\varphi_k$ , охватывающего направление максимума излучения основного лепестка ДН антенны, (см. описание к патенту RU 2619445 C1, МПК H01Q 21/00, опубликовано 15.05.2017, прототип).

Однако, в известном способе для любого заданного направления максимума основного лепестка ДН выбор оптимального значения угла сектора  $\varphi_k$ , охватывающего направление максимума излучения основного лепестка ДН в КФАР, определяется индивидуально, что требует дополнительных энергозатрат.

Задача изобретения - упрощение выбора оптимального значения угла сектора  $\varphi_k$ , охватывающего направление максимума излучения основного лепестка ДН в КФАР, с достижением максимального коэффициента усиления антенны.

Технический результат - снижение энергопотребления за счет оптимизации числа работающих излучателей в секторе, охватывающем направление максимума излучения основного лепестка ДН антенны.

Технический результат достигается тем, что в способе формирования диаграммы направленности кольцевой фазированной антенной решетки с направленными единичными антенными излучателями, предусматривающий электронное управление напряжением, подаваемом на активные излучатели внутри выбранного углового сектора  $\varphi_k$ , охватывающего заданное направление максимума излучения основного лепестка ДН, напряжение подают на все единичные излучатели внутри углового сектора  $\varphi_k$ , расположенные симметрично относительно направления максимума излучения основного лепестка ДН, а величину углового сектора  $\varphi_k$  выбирают из условия:

$$V_{DN} + \phi_1 < \phi_k \leq 2V_{DN} + \phi_1, (1) \text{ где}$$

$V_{DN}$  - ширина ДН единичного излучателя КФАР, град

$N$  - число единичных излучателей в КФАР;

5  $K$  - число единичных излучателей внутри углового сектора  $\phi_k$ ;

$\phi_1 = 360^\circ / N$  - угол сектора, приходящийся на единичный излучатель в КФАР, град,

при этом подачу и управление фазой напряжения упомянутых излучателей осуществляют единым диаграммообразующим устройством.

10 Работа предлагаемого технического решения поясняется чертежами.

На фиг. 1 представлено схематичное изображение кольцевой фазированной антенной решетки (КФАР) с единичными направленными излучателями, когда направление

максимального излучения (на чертеже показано стрелкой) основного лепестка

15 диаграммы направленности КФАР совпадает с направлением максимального излучения основного лепестка диаграммы направленности единичного излучателя; на фиг. 2 -

схематичное изображение кольцевой фазированной антенной решетки (КФАР) с

единичными направленными излучателями, когда направление максимального излучения

(на чертеже показано стрелкой) основного лепестка диаграммы направленности КФАР

20 не совпадает с направлением максимального излучения основного лепестка диаграммы направленности единичного излучателя и находится между двумя соседними

излучателями.

Позиции 1-16 на чертежах (фиг. 1, фиг. 2) это направленные единичные излучатели

кольцевой фазированной антенной решетки. Активные излучатели (это излучатели, на

25 которые подают напряжение,) внутри выбранного углового сектора  $\phi_k$ , симметрично

охватывающего заданное направление максимума излучения основного лепестка ДН

КФАР, изображены в сером цвете. На фиг. 1 это излучатели 1, 2, 3, 15, 16, а на фиг. 2 -

это излучатели 1, 2, 3, 4, 15, 16. В черном цвете изображены пассивные излучатели, т.е.

это излучатели, на которые в данном случае напряжение не подают. На фиг. 1 это

излучатели 4-14, а на фиг. 2 - излучатели 5-14.

30 Показанное стрелкой на чертежах заданное направление максимума излучения

основного лепестка ДН КФАР, совпадает с биссектрисой углового сектора  $\phi_k$ .

Для осуществления способа используют КФАР с единым диаграммообразующим

35 устройством (ДУ), обеспечивающим полное перекрытие азимутов окружности и

заданную дискретность изменения азимута ДН. ДУ и приемопередающие устройства

размещены внутри КФАР с  $N$  направленными единичными излучателями в виде плоских

печатных плат, образующих цилиндрическую поверхность.

Радиус  $r$  КФАР определяют из условия:  $r = \frac{(0.65 \div 0.7)\lambda(N-1)}{2\pi}$  (2), где  $\lambda$  - длина волны.

Зависимость (2) установлена эмпирическим путем исходя из уменьшения габаритов

40 КФАР и получения максимального коэффициента усиления основного лепестка ДН.

Пример осуществления способа на КФАР с 16-ю единичными направленными

излучателями, ширина ДН каждого из которых  $V_{DN} = 60^\circ$ .

Согласно зависимости (1) определяем величину угла  $\phi_k$  сектора, охватывающего

45 направление максимального излучения основного лепестка ДН:

$$\phi_1 = 360^\circ / N = 360^\circ / 16 = 22,5^\circ$$

$$60^\circ + 22,5^\circ < \phi_k \leq 120^\circ + 22,5^\circ$$

$$82,5^\circ < \phi_k \leq 142,5^\circ \quad (3)$$

Принимая во внимание, что единичные направленные излучатели все идентичны и эквидистантно размещены на цилиндрической поверхности КФАР, имеем

$$\phi_k = K\phi_1 = K \cdot 22,5^\circ.$$

Из неравенства (3) получаем  $4 < K \leq 6$ , т.е. напряжение нужно подавать на пять или шесть единичных излучателей.

Если направление максимального излучения основного лепестка диаграммы направленности совпадает с направлением излучения единичного излучателя, например, с номером 1 (фиг. 1), напряжение подают на пять излучателей, которым соответствуют излучатели с номерами 1, 2, 3 и 16, 15.

Если направление максимального излучения основного лепестка диаграммы направленности находится между двумя соседними излучателями, например, с номерами 1 и 2, напряжение подают на шесть излучателей, которым на фиг. 2 соответствуют излучатели с номерами 2, 3, 4 и 1, 16, 15.

На практике при включении всех единичных излучателей кольцевой фазированной антенной решетки усиление основного лепестка 9.39 дБ, боковых - до 3.18 дБ. Ширина основного лепестка около 15 градусов.

При подаче напряжения только на один элемент, получали усиление равное 6.32 дБ, с шириной ДН 60 градусов.

При подаче напряжения на три излучателя с номерами 1, 2 и 16 получали усиление основного лепестка 16.21 дБ. Уровень побочных лепестков - до 0.72 дБ. Ширина основного лепестка около 15-ти градусов.

При подаче напряжения на пять излучателей с номерами 1, 2, 3, 16, и 15 получали усиление основного лепестка 18.9 дБ. Уровень побочных лепестков - не более 0.81 дБ.

Ширина основного лепестка 10 градусов.

При подаче напряжения на семь излучателей с номерами 1, 2, 3, 4, 16, 15 и 14 получали снижение усиления основного лепестка до 17.97 дБ, при этом уровень побочных лепестков увеличивается. Таким образом, максимальное усиление основного лепестка дает включение лишь 5 единичных излучателей из 16-ти, для выбранной модели КАР.

В другом случае, когда основной лепесток ДН находится между двумя единичными излучателями (фиг. 2), при положении основного лепестка равном 11,25 градусов получили следующие результаты.

Следуя принципам симметрии, напряжение подавали на четное число единичных излучателей, так как в противном случае усиливались боковые лепестки. При подаче напряжения на два излучателя с номерами 1 и 2 максимальное усиление основного лепестка составляло 11.58 дБ, боковых - до 0.53 дБ. Ширина основного лепестка около 25 градусов.

При подаче напряжения на четыре излучателя с номерами 1, 2, 3 и 16 получали усиление основного лепестка 18.72 дБ, боковых - до 1.15 дБ. Ширина основного лепестка около 12 градусов.

При подаче напряжения на шесть излучателей с номерами 1, 2, 3, 4, 16 и 15 получали максимальное усиление основного лепестка около 19.74 дБ, боковых - до 1.05 дБ. Ширина лепестка около 10 градусов.

При подаче напряжения на восемь излучателей с номерами 1, 2, 3, 4, 5, 16, 15 и 14, получали снижение коэффициента усиления основного лепестка ДН до 16.97 дБ и сильное увеличение боковых лепестков.

Изменение фазы  $F_i$  на каждом  $i$ -том единичном излучателе, принимая за фазовый центр заданное угловое положение  $\phi_0$  азимута основного лепестка ДН, осуществляют по зависимости:  $F_i = \frac{-2\pi r}{\lambda} \cos(\phi_1 \cdot i - \phi_0)$ , где  $i=0 \dots N-1$ .

Предлагаемое техническое решение позволяет выбрать оптимальный угол сектора  $\phi_k$ , охватывающего направление максимума излучения основного лепестка ДН в КФАР, и, таким образом, осуществляется оптимизация числа задействованных в работе единичных излучателей, при этом обеспечивается достаточно высокий коэффициент усиления антенны. А оптимизация числа работающих единичных излучателей позволяет снизить, по сравнению с прототипом, энергопотребление антенной решетки.

(57) Формула изобретения

Способ формирования диаграммы направленности (ДН) кольцевой фазированной антенной решетки с направленными единичными антенными излучателями, предусматривающий электронное управление напряжением, подаваемом на активные излучатели внутри выбранного углового сектора  $\phi_k$ , охватывающего заданное направление максимума излучения основного лепестка ДН, отличающийся тем, что напряжение подают на все единичные излучатели внутри углового сектора  $\phi_k$ , расположенные симметрично относительно направления максимума излучения основного лепестка, а величину углового сектора  $\phi_k$  выбирают из условия:

$$V_{DN} + \phi_1 < \phi_k \leq 2 V_{DN} + \phi_1, \text{ где}$$

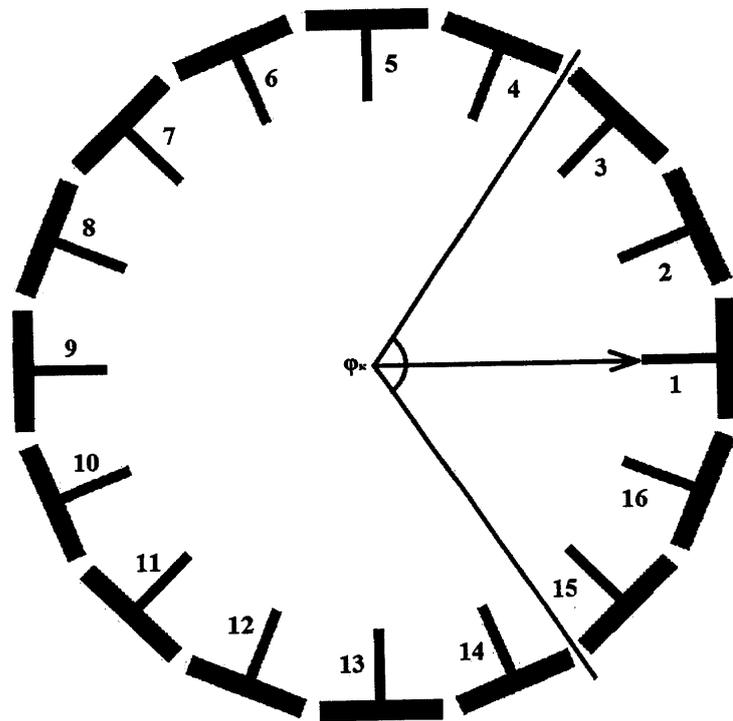
$V_{DN}$  - ширина ДН единичного излучателя КФАР, град;

$N$  - число единичных излучателей в КФАР;

$K$  - число единичных излучателей внутри углового сектора  $\phi_k$ ;

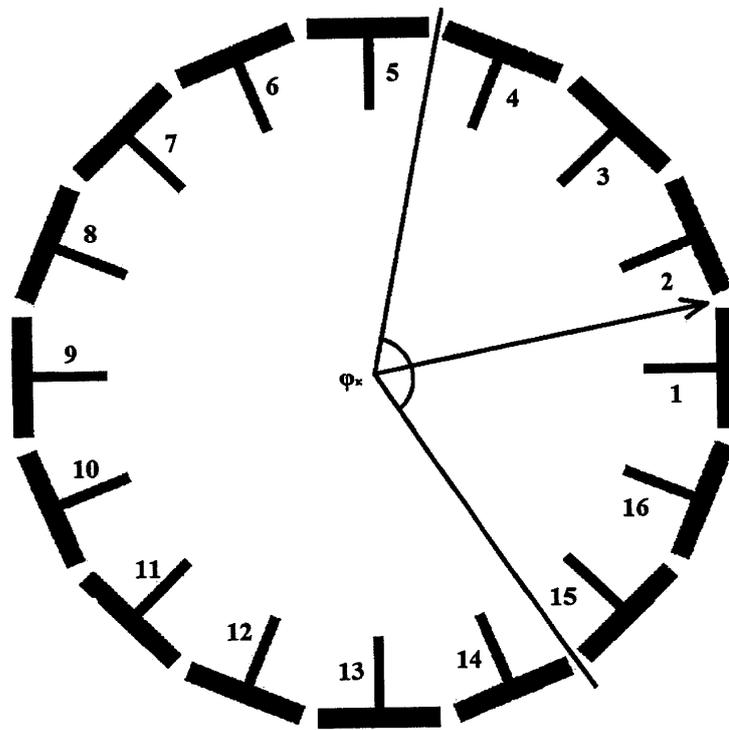
$\phi_1 = 360^\circ / N$  - угол сектора, приходящийся на единичный излучатель в КФАР, град, при этом подачу и управление фазой напряжения упомянутых излучателей осуществляют единым диаграммообразующим устройством.

1



Фиг.1

2



Фиг.2