



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
H01Q 23/00 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2017145895, 25.12.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
25.12.2017

Дата регистрации:  
17.01.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.12.2017

(45) Опубликовано: 17.01.2019 Бюл. № 2

Адрес для переписки:  
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,  
ЦИС

(72) Автор(ы):

Абдуллин Ренат Рашидович (RU),  
Чечеткин Виктор Алексеевич (RU),  
Шабунин Сергей Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Уральский федеральный  
университет имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2246156 C1, 10.02.2005. RU  
2136090 C1, 27.08.1999. RU 2137267 C1,  
10.09.1999. US 5068670 A1, 26.11.1991.

## (54) АНТЕННАЯ РЕШЕТКА СВЧ С ЩЕЛЯМИ ПЕРЕМЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к технике сверхвысоких частот (СВЧ) и может быть применено в составе бортовых радиолокационных систем с частотным сканированием. Антенная решетка СВЧ содержит дуговой волновод с вырезанными на внешней его стороне поперечными щелями. Длина щелей убывает по линейному или другому закону, например экспоненциальному, от начала волновода к концу, а ширина наоборот

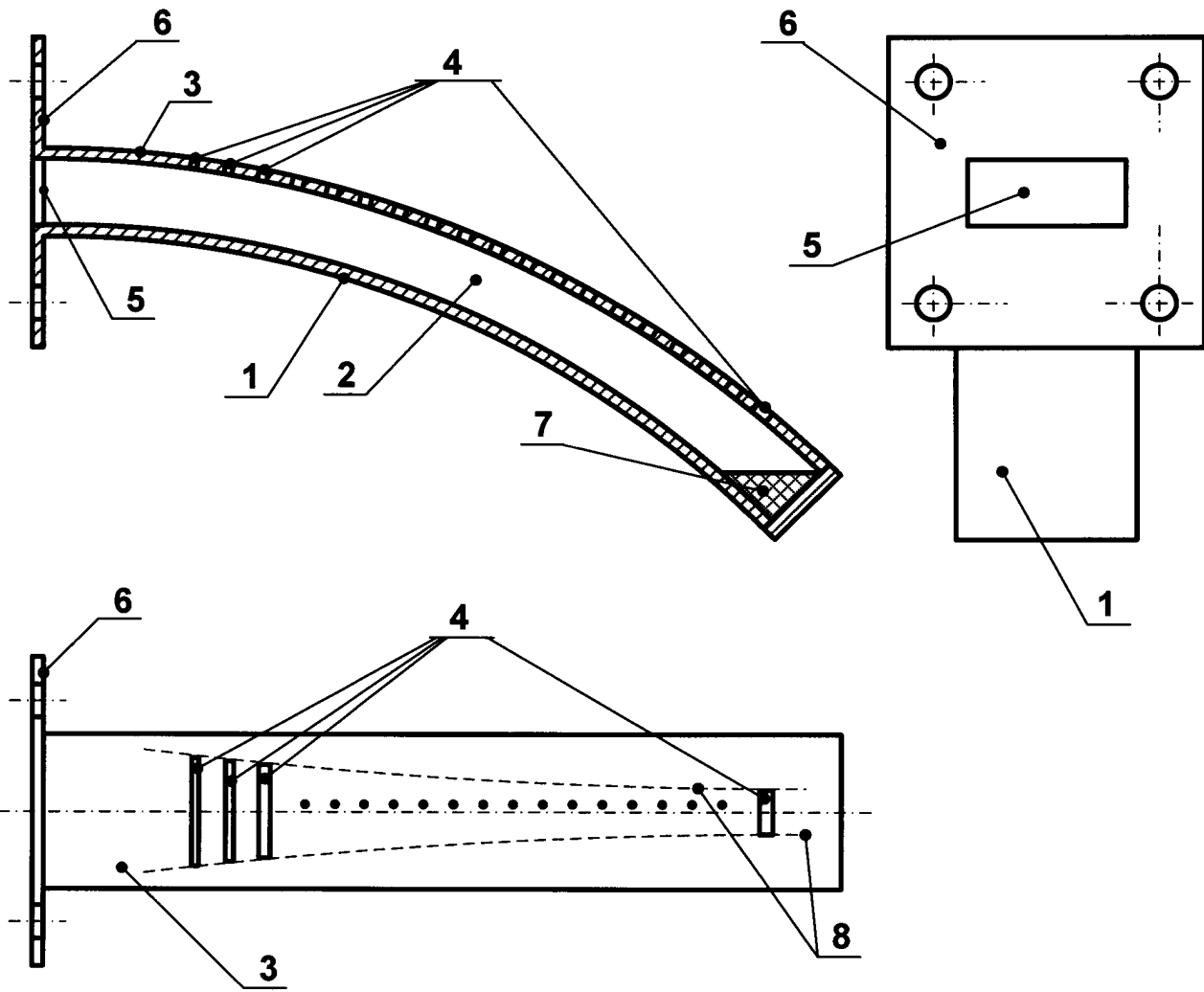
увеличивается по арифметической прогрессии, причем соблюдается условие, что длина последней щели больше ее ширины, а площадь последней щели больше площади первой щели. Технический результат заключается в увеличении сектора сканирования антенны с высоким быстродействием, уменьшении габаритно-массовых характеристик, а также в возможности полной автоматизации управления лучом антенны. 2 з.п. ф-лы, 1 ил.

RU 2 677 496 C1

RU 2 677 496 C1

RU 2677496 C1

RU 2677496 C1





FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*H01Q 23/00 (2018.08)*

(21)(22) Application: **2017145895, 25.12.2017**

(24) Effective date for property rights:  
**25.12.2017**

Registration date:  
**17.01.2019**

Priority:

(22) Date of filing: **25.12.2017**

(45) Date of publication: **17.01.2019** Bull. № 2

Mail address:  
**620002, g. Ekaterinburg, ul. Mira, 19, UrFU, TSIS**

(72) Inventor(s):

**Abdullin Renat Rashidovich (RU),  
Chechetkin Viktor Alekseevich (RU),  
Shabunin Sergej Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Uralskij federalnyj universitet  
imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N. Eltsina"  
(RU)**

(54) **ULTRA-HIGH FREQUENCIES ANTENNA ARRAY WITH VARIABLE GEOMETRY SLOTS**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention relates to the technique of ultra-high frequencies (UHF) and can be applied as part of airborne radar systems with frequency scanning. Ultra-high frequencies antenna array contains an arc waveguide with transverse slots cut on its outer side. Length of the slots decreases according to a linear or other law, for example, exponentially, from the beginning of the waveguide to the end, while the width

increases in contrast to an arithmetic progression, the condition is observed that the length of the last slit is greater than its width, and the area of the last slit is larger than the area of the first slit.

EFFECT: technical result consists in increasing the antenna scanning sector with high speed, reducing overall mass characteristics, as well as in the possibility of fully automated control of the antenna beam.

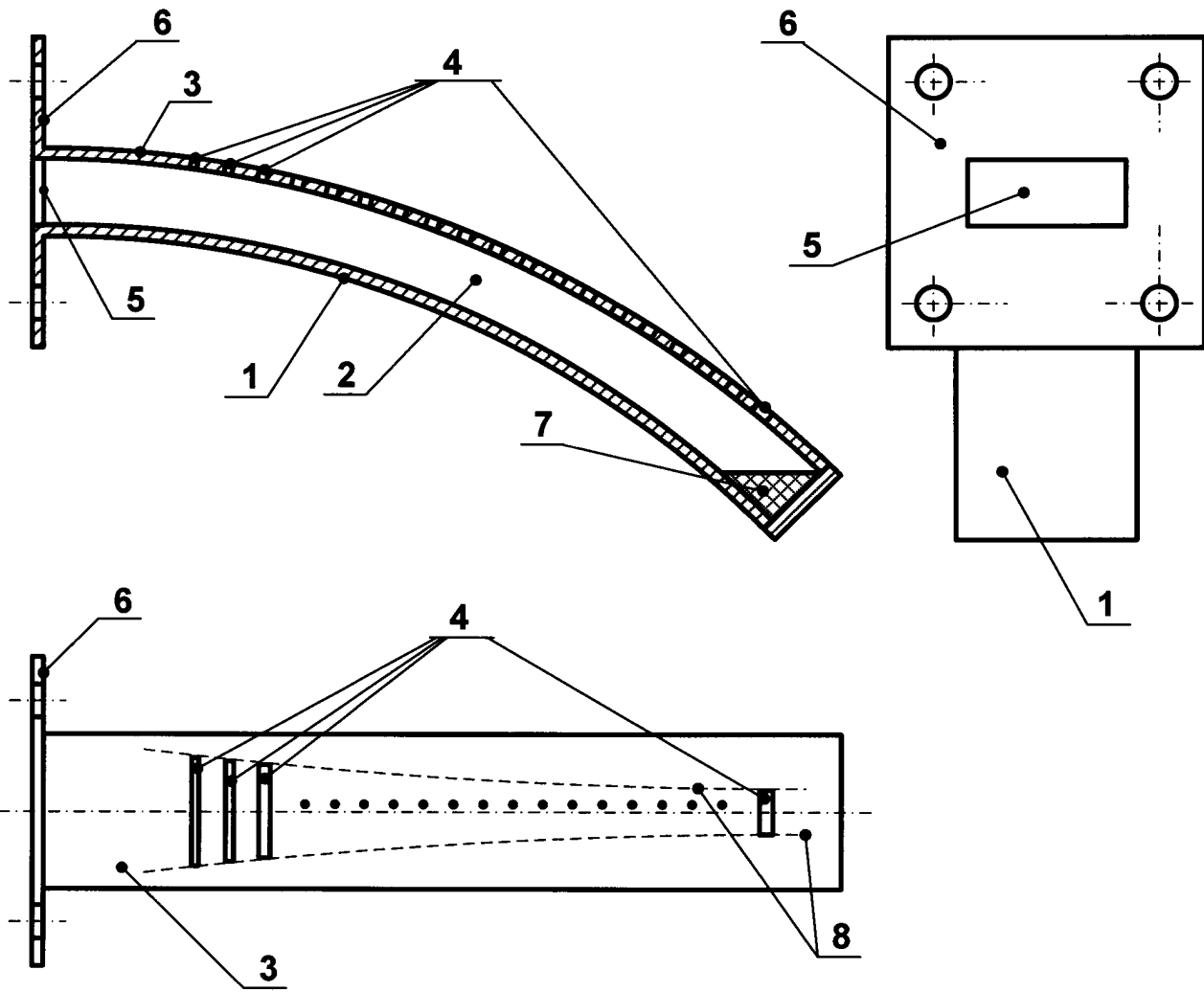
3 cl, 1 dwg

**RU 2 677 496 C1**

**RU 2 677 496 C1**

RU 2677496 C1

RU 2677496 C1



Изобретение относится к технике сверхвысоких частот (СВЧ) и может быть применено в составе бортовых радиолокационных систем с частотным сканированием, в летательных аппаратах (ЛА).

В последнее время все более широкое распространение получили бортовые радиолокационные станции (БРЛС), использующие сигналы, отраженные или рассеянные земной поверхностью. Основными задачами, решаемыми этими БРЛС, являются как навигация ЛА, так и обнаружение, распознавание и классификация объектов, находящихся на земной и водной поверхности.

Общей проблемой этих БРЛС является не только классификация земной (водной) поверхности: взлетно-посадочная полоса, море (бальность волн), пашня, кустарник, холмистая поверхность, песок, городской ландшафт и пр. - но и задачи обнаружения объектов на их фоне, что требует создания многофункциональных БРЛС, решающих задачи переднего, бокового или секторного обзора. Это требует использования широкополосных зондирующих сигналов, обеспечивающее высокое разрешение по дальности и угловой координате, также современных средств цифрового формирования и обработки сигналов. Наиболее предпочтительными являются сигналы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ).

Как следствие, проблемой при создании подобных БРЛС является правильный выбор антенной системы, а именно: она не должна нарушать аэродинамические качества самолета и обладать высокой разрешающей способностью по дальности при минимизации габаритно-массовых характеристик (ГМХ). Реализация требуемых направленных свойств, частотных, энергетических и других характеристик антенны во многом зависит от рабочего диапазона частот. Последние десятилетия ознаменовались широким внедрением радиоустройств техники диапазона СВЧ, в котором антенны создают остронаправленное излучение с шириной луча в единицы и доли градусов и имеют коэффициент усиления, достигающий десятков и сотен тысяч.

Широко известны щелевые антенны, представляющие ряд щелей на металлической поверхности плоской или криволинейной формы. Для обеспечения узкой диаграммы направленности вырезают группу щелей. Результирующая диаграмма направленности определяется по принципу двойственности, см. кн. М.П. Долуханов «Антенны излучают!», Москва, Изд. Связь, 1973, стр. 81-82.

Известна конструкция дуговой волноводно-щелевой решетки с последовательным возбуждением и дискретно коммутируемыми фазовращателями, см. кн. «Антенны и устройства СВЧ» под ред. Д.Н. Воскресенского, Москва, Радио и связь, 1981, стр. 103.

Недостатком конструкции являются: сложность конструкции фазовращателей, также сложность их настройки.

Все известные дуговые щелевые антенны имеют одну особенность, а именно: щели выполнены одного типоразмера, то есть имеют одну и ту же длину и ширину независимо от их расположения в антенной решетке. Управление параметрами таких антенн является весьма сложной задачей, так как для формирования направленного излучения необходимо применение фазовращателей какого-либо типа: дискретных, волноводных, многопозиционных, коммутационных, ферритовых и пр., что приводит также к увеличению ГМХ и повышению стоимости.

Рассмотрение возможности применения щелей разной геометрии в дуговой антенной решетке (для создания фазового распределения) из общеизвестных источников авторами не найдено, поэтому авторы просят рассмотреть данную заявку, в которой в качестве прототипа можно указать просто «дуговую щелевую антенную решетку».

Технической задачей изобретения является существенное увеличение сектора

сканирования антенны с высоким быстродействием, острой направленностью, оптимизация конструкции, уменьшение ГМХ.

Технический результат достигается за счет применения щелей переменного размера по длине и ширине, которые выполняют функции фазовращателей, а длина и ширина щелей по волноводу распределяется по линейному или экспоненциальному закону, также можно применять и другие кривые второго порядка.

Для решения поставленной задачи предлагается антенная решетка СВЧ, содержащая дуговой волновод с вырезанными на внешней его стороне поперечными щелями, причем длина щелей убывает по линейному закону от начала волновода к концу, а ширина наоборот увеличивается по арифметической прогрессии, причем соблюдается условие, что длина последней щели больше ее ширины, а площадь последней щели больше площади первой щели.

Убывающий закон изменения длины поперечных щелей вдоль структуры от начала волновода к согласованной нагрузке способствует продольному уменьшению коэффициента замедления  $\xi$  (увеличению фазовой скорости), определяющего положение максимума диаграммы направленности одиночного элемента (щели), формируя остронаправленное суммарное излучение. Коэффициент замедления  $\xi$  в окрестности каждой из щелей подбирается из условия  $\theta_{0п} = \arccos \xi$ , где  $\theta_{0п}$  - угол отклонения основного лепестка ДН одиночного излучателя относительно касательной к поверхности антенны в точке его положения, при этом длина щелей  $L$  определяется численными методами из уравнения:

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{k_0^2 - k_x^2}{\sqrt{k_0^2 - k_x^2 - k_{yn}^2}} \left[ \frac{\cos(k_x L/2)}{(\pi/L)^2 - k_x^2} \right]^2 dk_x =$$

$$= \frac{2\pi}{a} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{(\pi m/a)^2 + k_{yn}^2} \frac{-jctgyb}{\gamma} \left[ \frac{\epsilon_m}{2} \left( \frac{\pi m}{a} \right)^2 \gamma^2 + k_{yn}^2 k_0^2 \right] \left[ \frac{\sin(\pi m/2) \cos(\pi m L/(2a))}{(\pi/L)^2 - (\pi m/a)^2} \right]^2,$$

где  $k_0$  - волновое число в свободном пространстве;

$k_x, k_{yn} = k_y + \pi n/p$  - поперечная и продольная постоянные распространения антенной решетки, соответственно;  $k_y = \beta - j\alpha$  - продольная постоянная распространения для волновода с одной щелью,  $\beta$  и  $\alpha$  - постоянная фазы и постоянная затухания, соответственно,  $n$  - номер гармоники Флоке,  $p$  - шаг решетки;  $\xi = \beta/k_0$ ;

$$\gamma = \sqrt{k_0^2 - (\pi m/a)^2 - k_{yn}^2} - \text{постоянная распространения внутри волновода в}$$

направлении нормали к плоскости излучения;

$a$  и  $b$  - размеры широкой и узкой стенок прямоугольного волновода, соответственно.

Максимальная и минимальная длины щелей, а также шаг решетки (расстояние между щелями) определяется радиусом изгиба дуговой антенны и ее диапазоном углов сканирования. Число щелей выбирается исходя из требований к ширине диаграммы направленности. При этом, закон изменения длины щелей вдоль структуры антенны от волноводного входа к согласованной нагрузке зависит от используемого в приемнике алгоритма обработки отраженного сигнала и требуемой формы угло-частотной зависимости.

Ширина щелей изменяется вдоль волновода от минимальной в начале и максимальной в конце таким образом, чтобы обеспечить амплитудное распределение, близкое к равномерному.

На фиг. 1 представлена конструкция волноводно-щелевой дугообразной антенной решетки, на которой обозначено:

- 1 - нижняя поверхность волновода;
- 2 - собственно волновод;
- 3 - верхняя поверхность волновода;
- 4 - волноводные щели;
- 5 - вход волновода;
- 6 - крепление волновода (фланец) с четырьмя отверстиями для крепления;
- 7 - поглощающая нагрузка;
- 8 - условные линии, определяющие изменение длины щелей вдоль волновода.

Поглощающая нагрузка на выходе волновода показана условно, так же как и СВЧ разъем на входе, радиус и кривизна изгиба также условны.

Конструкция имеет следующие соединения: на верхней поверхности волновода 2 размещены (вырезаны) щели 4, расположенные поперек волновода (геометрические размеры щелей и расстояние между ними зависят от длины волны и ДН). Изменение длины щелей 4 по волноводу 2 определяется линиями 8, наклон которых рассчитывается по специальной программе, исходя из получения заданной ДН и создания остронаправленного излучения.

Электрическая сущность изобретения следующая: особенностью заявленной антенной решетки является использование изогнутого прямоугольного волновода 2 со щелями 4 переменных геометрических размеров, что способствует изменению фазовой скорости возбуждения внутри системы и обеспечению сонаправленной ориентации максимумов парциальных диаграмм направленности одиночных излучателей (щелей). Таким образом, сами щели 4 выполняют функцию распределения сигналов вдоль щелей соседних излучателей.

Таким образом, предложена антенная решетка с частотным сканированием, выполненная из изогнутого в плоскости вектора  $E$  прямоугольного волновода, содержащего на внешней стороне изгиба близко расположенные друг к другу поперечные щели, геометрия которых меняется по мере движения волны, а значит, есть возможность управления направлением диаграммы направленности, то есть без специальной программы управления.

Ко всем щелям излучателей последовательно подводятся сигналы одинаковой структуры, с распределением амплитуды, близким к равномерному, и разными начальными фазами.

Диаграмма направленности этой антенной решетки при  $N$  излучателей (щелей) определяется выражением:

$$E(\theta) = \frac{\sin \Psi}{N \sin(\Psi/N)},$$

где  $\Psi = N\pi d/\lambda \cdot (\sin(\theta) - \sin(\theta_0))$ ,

$$\theta_0 = \arcsin\left(\frac{\Delta\phi\lambda}{2\pi d}\right) - \text{угол главного лепестка диаграммы направленности,}$$

$\Delta\phi$  - разность фаз сигналов между двумя любыми соседними излучателями,

$\lambda$  - длина волны излучаемого сигнала;

$d$  - расстояние между ними по дуге,  $d = 1 - \sin \gamma$ ;

$\gamma$  - угол кривизны.

Такое распределение длины и ширины щелей по волноводу позволяет избежать настройки фазового распределения в раскрыве фазированной антенной решетки. В

настоящее время это выполняется подбором фазовращателей или управляемыми линиями задержки, что довольно нетехнологично.

5 Такое конструктивное построение антенной решетки с применением длинных свипирующих импульсов позволяет не только значительно уменьшить ГМХ, но и повысить электрические свойства с одновременным упрощением антенны. РЛС с такой антенной решеткой позволяет использовать длинные импульсы с малой пиковой мощностью без потери разрешения по дальности, а система обработки импульсов в приемнике (на чертеже не показана) сжимает принимаемые импульсы, что  
10 восстанавливает высокое разрешение по дальности, свойственное более узким импульсам и максимально расширяет дальность обнаружения. Диаграмма направленности показывает точность определения местоположения по горизонтальной оси и допустимый доплеровский сдвиг частоты (по вертикальной оси) при наличии второй антенной решетки.

15 Мощность, частота следования, длительность и модуляция импульсов подбирается так, чтобы обеспечить наибольшую дальность обнаружения и наивысшее разрешение. Совместно с предлагаемой антенной решеткой получаем оптимальное решение этой задачи.

Литература:

1. Кн. М.П. Долуханов «Антенны излучают!», М., Изд. Связь, 1973 г.
- 20 2. Кн. «Антенны и устройства СВЧ» под ред. Д.Н. Воскресенского, М., Радио и связь, 1983 г.
3. Кн. В.Н. Каганов «Радиотехника», М., изд. Форум, 2015 г.
4. Кн. «Справочник по радиолокации» под ред. М.И. Сколник, М., «Советское радио», Т. 2, 1976 г.
- 25 5. Кн. Б.А. Панченко, Е.И. Нефедов «Микрополосковые антенны», М., «Радио и связь», 1986 г.

#### (57) Формула изобретения

1. Антенная решетка СВЧ, содержащая дуговой волновод с вырезанными на внешней  
30 его стороне поперечными щелями, отличающаяся тем, что длина щелей убывает по линейному или другому закону, например экспоненциальному, от начала волновода к концу, а ширина, наоборот, увеличивается по арифметической прогрессии, причем соблюдается условие, что длина последней щели больше ее ширины, а площадь последней щели больше площади первой щели.

35 2. Антенная решетка СВЧ по п. 1, отличающаяся тем, что количество щелей, расстояния между ними и закон распределения их размеров выбирается из заданной результирующей ДН и максимальным разрешением по дальности для каждой конкретной антенны.

40 3. Антенная решетка СВЧ по п. 1, характеризующаяся тем, что радиус кривизны дуги волновода определяется радиусом кривизны части фюзеляжа летательного аппарата в месте расположения антенны.



**АНТЕННАЯ РЕШЕТКА СВЧ  
С ЩЕЛЯМИ ПЕРЕМЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ**

