



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
H01Q 23/00 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2017130784, 30.08.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
30.08.2017

Дата регистрации:  
19.03.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.08.2017

(43) Дата публикации заявки: 01.03.2019 Бюл. № 7

(45) Опубликовано: 19.03.2019 Бюл. № 8

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

(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) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ СВЧ С ЧАСТОТНЫМ СКАНИРОВАНИЕМ

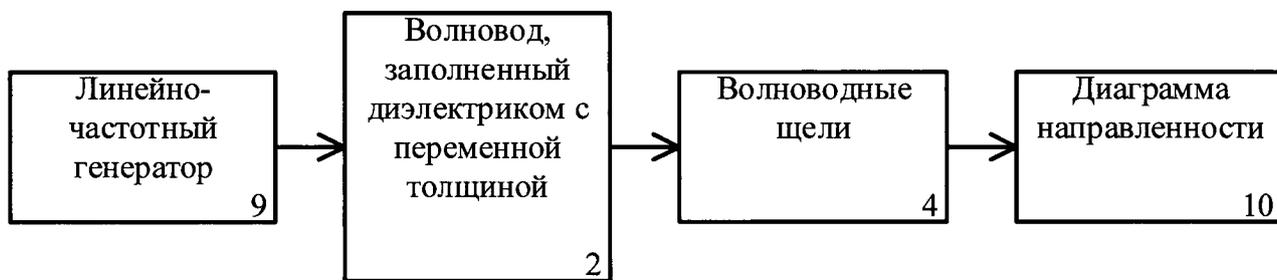
(57) Реферат:

Изобретение относится к технике сверхвысоких частот (СВЧ) и может быть применено в составе бортовых радиолокационных систем с частотным сканированием. Способ получения диаграммы направленности антенной решетки СВЧ с частотным сканированием, для чего генерируются сигналы с линейно-частотной модуляцией, из которых формируется продольное изменение фазовой скорости возбуждения путем

пропускания через волновод, заполненный диэлектриком переменной толщины, излучаются возбужденные электромагнитные волны, при этом возникает сонаправленная ориентация максимумов парциальных диаграмм направленности. Технический результат заключается в увеличении сектора сканирования антенны с высоким быстродействием, в оптимизации конструкции, уменьшении ГМХ. 2 ил.

RU 2 682 592 C 2

RU 2 682 592 C 2



фиг. 1

RU 2682592 C2

RU 2682592 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H01Q 23/00* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

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

(21)(22) Application: **2017130784, 30.08.2017**

(24) Effective date for property rights:  
**30.08.2017**

Registration date:  
**19.03.2019**

Priority:

(22) Date of filing: **30.08.2017**

(43) Application published: **01.03.2019** Bull. № 7

(45) Date of publication: **19.03.2019** Bull. № 8

Mail address:

**620002, g. Ekaterinburg, ul. Mira, 19, UrFU, TSIS,  
Marks T.V.**

(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) **METHOD OF OBTAINING RADIATION PATTERN OF UHF ANTENNA ARRAY WITH FREQUENCY SCANNING**

(57) Abstract:

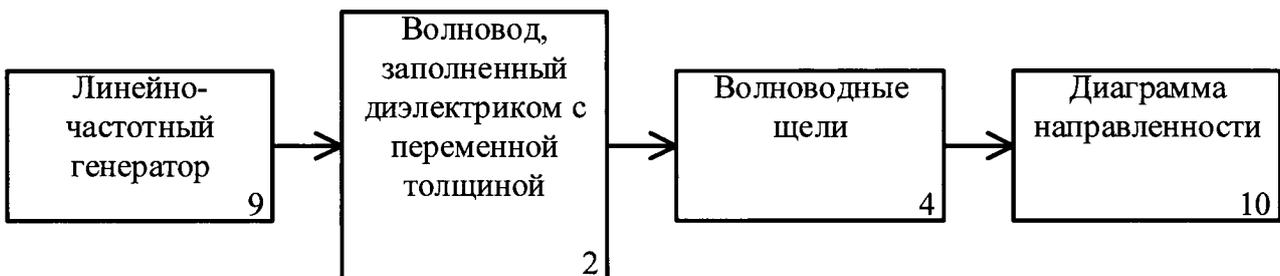
FIELD: microwave technology.

SUBSTANCE: invention relates to the technique of ultra-high frequencies (UHF) and can be applied as part of airborne radar systems with frequency scanning. Method of obtaining the radiation pattern of the UHF antenna array with frequency scanning, for which signals are generated with a linear frequency modulation, from which a longitudinal change in the phase excitation rate is formed by passing a variable

thickness through a waveguide filled with a dielectric, excited electromagnetic waves are emitted, in this case, a co-directed orientation of the maxima of partial radiation patterns arises.

EFFECT: technical result consists in increasing the sector of scanning the antenna with high speed, in optimizing the design, reducing the Physical Data.

1 cl, 2 dwg



фиг. 1

RU 2 682 592 C2

RU 2 682 592 C2

Изобретение относится к технике сверхвысоких частот (СВЧ) и может быть применено в составе бортовых радиолокационных систем с частотным сканированием, также может быть использовано при создании РЛС бокового обзора, обзора подстилающей поверхности на самолетах радиолокационной разведки А-50 (РФ) или АВАКС (США), а также в других специальных типах в соответствии с заданными параметрами антенной системы, характером подстилающей поверхности, а именно: точечная цель, взлетно-посадочная полоса, море, луг, пашня, кустарник, холмистая поверхность, песок, городской ландшафт и прочее.

Общей проблемой при создании подобных РЛС является правильный выбор антенной системы: она не должна нарушать аэродинамические качества самолета и обладать высокой разрешающей способностью 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. Это так называемые сканирующие антенны СВЧ на основе фазированных антенных решеток (ФАР).

Широко известны способы получения диаграмм направленности антенных решеток с частотным сканированием в щелевых антеннах, представляющих собой ряд щелей на металлической поверхности плоской или криволинейной формы, в которых возбуждается электромагнитное поле. 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.

Известен способ получения диаграммы направленности волноводно-щелевой дуговой 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 является сложность конструкции фазовращателей, также сложность их настройки.

Также известен способ получения диаграммы направленности на применении диэлектрика в качестве линии передачи по принципу распространения поверхностных волн, где сечение диэлектрического покрытия представляет прямоугольный треугольник, гипотенуза которого сходит на нет, см. кн. М.П. Долуханов «Антенны излучают!», Москва, Изд. Связь, 1973, стр. 84-86 - ПРОТОТИП.

Недостаток заключается в довольно сложной конструкции, в частности возбуждителя, больших ГМХ.

Технической задачей изобретения является существенное увеличение сектора сканирования антенны с высоким быстродействием, оптимизация конструкции, уменьшение ГМХ, а также полная автоматизация управления лучом антенны.

Технический результат достигается за счет оптимизации конструкции антенн, их размещения внутри фюзеляжа в боковых сторонах или нижней части, причем антенны выполняются в дуговом исполнении с радиусом кривизны частей фюзеляжа, где они установлены, а главное - за счет нового способа получения нужной диаграммы направленности антенной решетки.

Способ получения диаграммы направленности антенной решетки СВЧ с частотным сканированием, для чего генерируются сигналы с линейно-частотной модуляцией, из

которых формируется продольное изменение фазовой скорости возбуждения путем пропускания через волновод, заполненный диэлектриком переменной толщины, излучаются возбужденные электромагнитные волны, при этом возникает

5       сонаправленная ориентация максимумов парциальных диаграмм направленности. На фиг. 1 показана упрощенная структурно-электрическая схема, на фиг. 2 представлена возможная реализация волноводно-щелевой дугообразной антенной решетки, на которых обозначено:

- 1 - нижняя поверхность волновода;
- 2 - собственно волновод, заполненный диэлектриком с переменной толщиной;
- 10    3 - верхняя поверхность волновода;
- 4 - волноводные щели;
- 5 - вход волновода;
- 6 - крепление волновода (фланец) с четырьмя отверстиями для крепления;
- 7 - диэлектрик;
- 15    8 - поглощающая нагрузка (отрезок диэлектрика);
- 9 - линейно-частотный генератор;
- 10 - результирующая диаграмма направленности.

Согласующее устройство на выходе волновода показано условно, также как и СВЧ разъем на входе, радиус и кривизна изгиба также условна.

20       Схема на фиг. 1 имеет следующие соединения. Выход линейно-частотного генератора 9 соединен с входом волновода 2, который на внешней стороне дуги имеет волноводные щели 4, последние создают диаграмму направленности 10.

Конструкция на фиг. 2 имеет следующие соединения: между нижней 1 и верхней 3 поверхностями волновода 2 размещен криволинейный диэлектрик 7, на верхней

25       поверхности волновода 2 размещены (вырезаны) щели 4, расположенные поперек волновода (размеры щелей и расстояние между ними зависят от длины волны).

Электрическая сущность изобретения следующая: особенностью заявленной антенной решетки является использование частично заполненного изогнутого прямоугольного волновода 2 со щелями 4, диэлектриком 7 переменной толщины, что способствует

30       изменению фазовой скорости возбуждения внутри системы и обеспечению сонаправленной ориентации максимумов парциальных диаграмм направленности одиночных излучателей (щелей). Таким образом, диэлектрик 7 выполняет функцию распределения сигналов вдоль щелей соседних излучателей.

Таким образом, предложена антенная решетка с частотным сканированием,

35       выполненная из изогнутого в плоскости вектора  $E$  прямоугольного волновода, содержащего на внешней стороне изгиба близко расположенные друг к другу узкие поперечные щели, причем структура поперечного сечения меняется по мере движения волны, а значит, есть возможность управления направлением диаграммы направленности, то есть без специальной программы управления.

40       Количество щелей, а также их длина, ширина и расстояние между ними выбирается из условия корректной аппроксимации амплитудного распределения, причем управление лучом антенны в меридиональной плоскости (по углу места) осуществляется с помощью изменения частоты генератора.

Ко всем щелям излучателей последовательно подводятся сигналы одинаковой

45       структуры, с экспоненциальным изменением амплитуды и разными начальными фазами.

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

$$E(\theta) = \frac{\sin(0,5N\beta)}{\sin(0,5\beta)},$$

где  $\beta = \left(2\pi b/\lambda\right)(\sin(\theta) - \sin(\theta_0))$ ,

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

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

$b$  - расстояние между ними по дуге,  $b=1-\sin \alpha$ ;

$\alpha$  - угол кривизны.

Распределение толщины диэлектрика по волноводу по показанному на чертеже закону позволяет избежать настройки фазового распределения в раскрыве фазированной антенной решетки. В настоящее время это выполняется подбором фазовращателей или управляемыми линиями задержки, что довольно нетехнологично.

Закон распределения толщины диэлектрика по волноводу рассчитывается с использованием метода функций Джорджа Грина, см. кн. Н.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев «Справочник по математике», М., изд. Наука, 1965 г., стр. 436, 488, 545, который связывает двойной интеграл по некоторой плоской области с криволинейным интегралом по границе этой области, причем в каждом отдельном случае (различного назначения антенны, частоты и прочее) закон распределения проверяется экспериментально.

Литература

1. Кн. М.П. Долуханов «Антенны излучают!», М., Изд. Связь, 1973 г.

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.

5. Кн. Б.А. Панченко, Е.И. Нефедов «Микрополосковые антенны», М., «Радио и связь», 1986 г.

6. Кн. Н.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев «Справочник по математике», М., изд. Наука, 1965 г.

#### (57) Формула изобретения

Способ получения диаграммы направленности антенной решетки СВЧ с частотным сканированием, основанный на фазовом распределении, отличающийся тем, что генерируют сигналы с линейно-частотной модуляцией, из которых формируют продольное изменение фазовой скорости возбуждения путем пропускания через изогнутый по дуге волновод, заполненный диэлектриком переменной толщины, излучают возбужденные электромагнитные волны, при этом возникает сонаправленная ориентация максимумов парциальных диаграмм направленности, а диаграмму направленности всей антенной решетки при  $N$  излучателей-щелей определяют выражением:

$$E(\theta) = \frac{\sin(0,5N\beta)}{\sin(0,5\beta)},$$

где:  $\theta_0 = \arcsin\left(\frac{\Delta\varphi\lambda}{2\pi b}\right)$  - угол главного лепестка диаграммы направленности,

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

5  $b$  - расстояние между ними по дуге,  $b = 1 - \sin \alpha$ ;

$\alpha$  - угол кривизны;

$N$  - число излучателей;

$$\beta = \left(\frac{2\pi b}{\lambda}\right)(\sin(\theta) - \sin(\theta_0)).$$

10

15

20

25

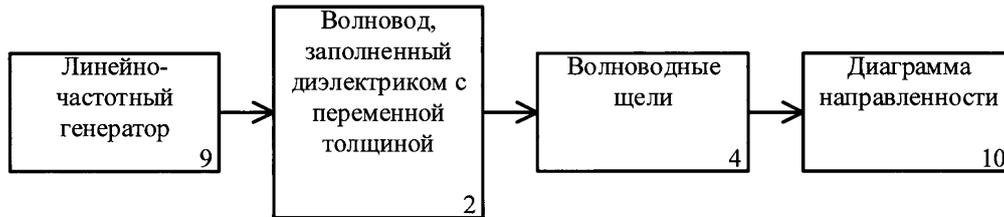
30

35

40

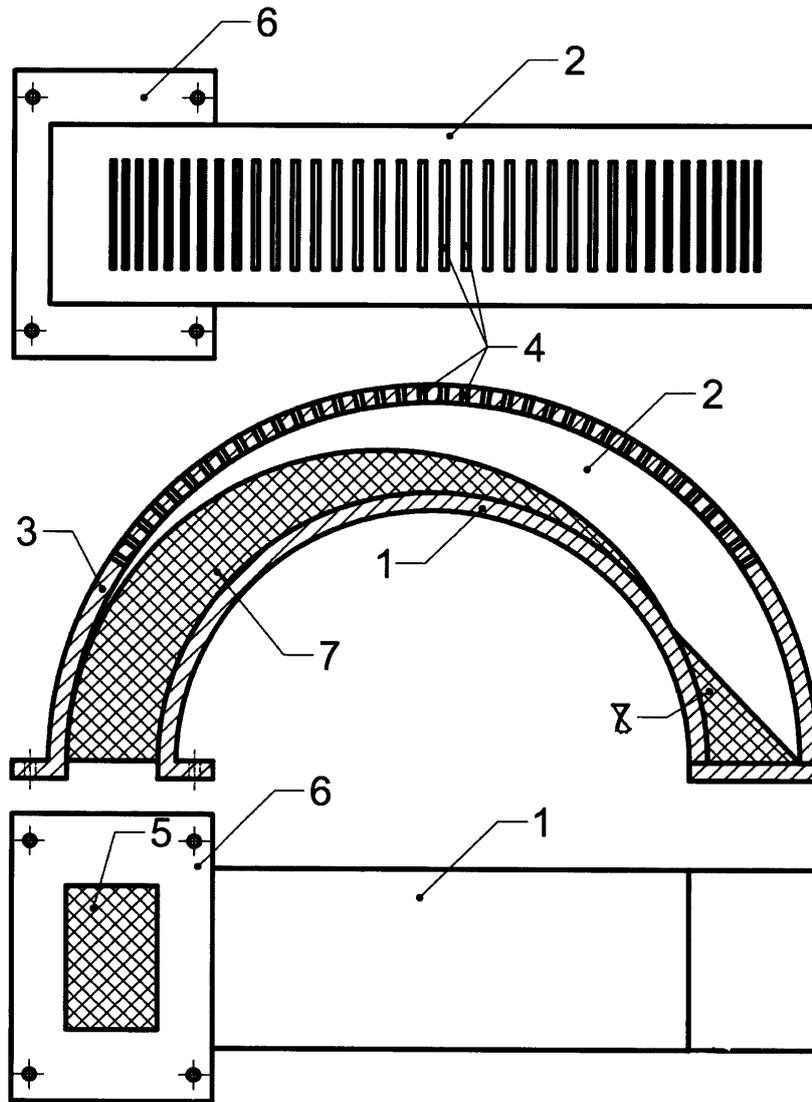
45

**СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ДИАГРАММЫ  
НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННОЙ  
РЕШЕТКИ СВЧ С ЧАСТОТНЫМ  
СКАНИРОВАНИЕМ**



фиг. 1

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ДИАГРАММЫ  
НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННОЙ  
РЕШЕТКИ СВЧ С ЧАСТОТНЫМ  
СКАНИРОВАНИЕМ



фиг. 2