



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010154289/07, 30.12.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.12.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.12.2010

(45) Опубликовано: 20.09.2012 Бюл. № 26

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2325741 C1 27.05.2008. RU 2322737 C1, 20.04.2008. RU 2184410 C1, 27.06.2002. RU 62741 U1, 27.04.2007. EP 2070159 B1, 22.12.2010. FR 2668304 A1, 24.04.1992. US 2003067410 A1, 10.04.2003.

Адрес для переписки:

105005, Москва, 2-я Бауманская, 5, МГТУ им.
Н.Э. Баумана, Центр защиты
интеллектуальной собственности, Е.С.
Халатовой

(72) Автор(ы):

Голубцов Максим Евгеньевич (RU),
Русов Юрий Сергеевич (RU),
Крехтунов Владимир Михайлович (RU),
Нефедов Сергей Игоревич (RU),
Фирсенков Анатолий Иванович (RU)

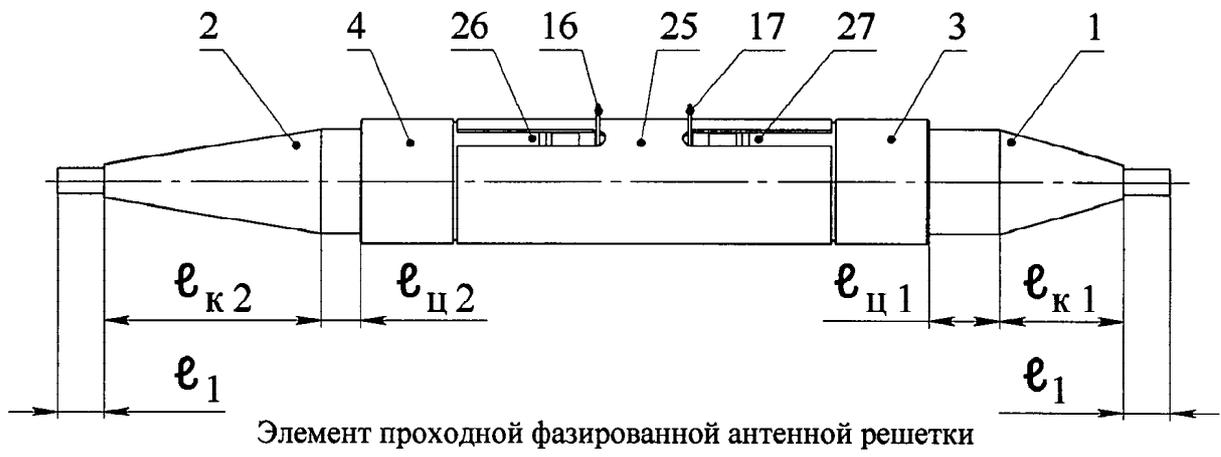
(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)**(54) ЭЛЕМЕНТ ПРОХОДНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области радиотехники СВЧ- и КВЧ-диапазонов. Техническим результатом является уменьшение поперечных размеров, снижение уровня вносимых СВЧ-потерь, увеличение коэффициента усиления ФАР, упрощение конструкции, повышение ее технологичности, прочности и стойкости к ударным и вибрационным воздействиям. Устройство содержит приемный и апертурный диэлектрические излучатели (ДИ), волноводный ферритовый фазовращатель (ФВ) фарадеевского типа и корпус в виде тонкостенной гильзы. Фазовращатель состоит из ферритового стержня (ФС) в виде N-гранной призмы ($N \geq 4$), размещенного вместе с обмоткой его продольного намагничивания

внутри магнитопровода в виде N П-образных ферритовых скоб, расположенных по одной на каждой грани ФС. Волновод элемента ФАР включает волновод, образованный пленкой токопроводящего покрытия боковой поверхности ФС, волноводы излучателей, согласующие и соединительные волноводы. Между торцами ФС и торцами ДИ размещены диэлектрические вставки в виде шайб, выполненные из материала с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_b = 9,5 \dots 10,5$. Ферритовый блок центрируется в корпусе диэлектрическими шайбами, внешняя поверхность которых, как и полочек ферритовых скоб, выполнена по форме внутренней поверхности корпуса. Диэлектрический излучатель имеет форму круглого стержня, на конце которого установлен согласующий трансформатор. 5 ил.



Фиг. 1

RU 2461931 C2

RU 2461931 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H01Q 21/00 (2006.01)
H01P 1/19 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2010154289/07, 30.12.2010

(24) Effective date for property rights:
30.12.2010

Priority:

(22) Date of filing: 30.12.2010

(45) Date of publication: 20.09.2012 Bull. 26

Mail address:

105005, Moskva, 2-ja Baumanskaja, 5, MGTU im.
N.Eh. Bauman, Tsentr zashchity intellektual'noj
sobstvennosti, E.S. Khalatovoj

(72) Inventor(s):

**Golubtsov Maksim Evgen'evich (RU),
Rusov Jurij Sergeevich (RU),
Krekhtunov Vladimir Mikhajlovich (RU),
Nefedov Sergej Igorevich (RU),
Firsenkov Anatolij Ivanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego professional'nogo obrazovanija
"Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij
universitet imeni N.Eh. Bauman (MGTU im.
N.Eh. Bauman) (RU)**

(54) **ELEMENT OF PHASED TRANSMISSIVE ANTENNA ARRAY**

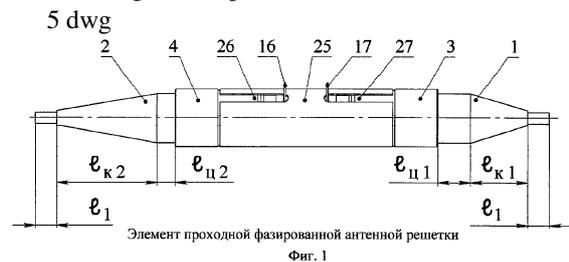
(57) Abstract:

FIELD: radio engineering.

SUBSTANCE: device contains receiving and apertural dielectric radiators (DR), wave-guiding ferrite rotation phase shifter (PS) of faraday type and housing in a form of thin-wall shell. Rotation phase shifter consists of ferrite rod (FR) in a form of N -plane prism ($N \geq 4$) located together with winding of its longitudinal magnetisation inside magnet core in a form of N "П"-shaped ferrite clamps located one by one on each FR plane. Wave guide of PAA element includes wave guide formed by film of current-conducting coating of FR side surface, radiator wave guides, matching and connecting wave guides. Between the ends of FR and ends of DR there are dielectric inserts in form of washers made from material with dielectric capacitance $\epsilon_v = 9.5 \dots 10.5$. Ferrite unit is centered

in the housing by dielectric washers the outer surface of which like ferrite clamps ledges is done by a form of housing inner surface. Dielectric radiator has a form of round bar at the end of which there is a matching transformer.

EFFECT: reduction of crosscut dimensions, reduction of microwave losses level, increase of PAA amplification factor, structure simplification, increase of its processability, strength and resistance against impact and vibration effects.



Изобретение относится к области радиотехники СВЧ- и КВЧ-диапазонов, в частности - к конструкциям элементов фазированных антенных решеток (ФАР), и может быть использовано в радиолокационных системах с электрическим сканированием луча.

Известны проходные фазированные антенные решетки с пространственным возбуждением, у которых прием электромагнитных волн от первичного облучателя производится одними (например, приемными), а их излучение в пространство - другими (например, апертурными) излучателями.

Известны элементы фазированных антенных решеток проходного типа, осуществляющих электрическое сканирование луча. Каждый из них может быть выполнен, например, в виде последовательно соединенных приемного и апертурного волноводно-диэлектрических излучателей и размещенного между ними волноводного ферритового фазовращателя с продольным полем намагничивания, пропускающего электромагнитные волны, поляризованные по кругу.

В частности известен приемопередающий элемент ФАР проходного типа, описанный в патенте России №2184410 [1] (Патент России №2184410, МПК H01Q 21/00, H01P 1/19, от 26.06.2001). Элемент ФАР содержит диэлектрические излучатели и фазовращатель, состоящий из намагничивающей обмотки, расположенной внутри магнитопровода, и цилиндрического ферритового стержня, установленного внутри намагничивающей обмотки. Между торцами цилиндрического ферритового стержня и торцами диэлектрических излучателей установлены согласующие диэлектрические шайбы. При этом цилиндрический ферритовый стержень, согласующие шайбы и диэлектрические излучатели имеют одинаковый диаметр и заключены в общий отрезок круглого волновода. Магнитопровод этого элемента ФАР выполнен в виде двух П-образных скоб, каждая из которых содержит продольную пластину и два башмака, опирающихся на металлизированную боковую поверхность ферритового стержня, причем опорная поверхность башмаков выполнена по форме боковой поверхности стержня, а внутренние поверхности башмаков отшлифованы с высоким классом точности и плотно прижаты к поверхности металлизированного ферритового стержня. Общий отрезок металлизированного круглого волновода выполнен в виде медной пленки толщиной 1,1...1,5 мкм. Цилиндрический ферритовый стержень выполнен из феррита с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_f=14...17$, согласующие шайбы выполнены из материала, например ситалла, с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{ш}=9...11$, а диэлектрические излучатели выполнены из материала, например ситалла, с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_n=7,15...7,35$.

Приемопередающий элемент ФАР [1] обладает рядом недостатков. Для него характерны: высокий уровень вносимых СВЧ-потерь, большая длина, сложность изготовления отдельных деталей и сборки элемента ФАР, низкие прочность и стойкость элемента ФАР к ударным и вибрационным воздействиям.

Приемопередающий элемент ФАР имеет избыточную длину. Длины его диэлектрических излучателей выбраны из соображений обеспечения требуемых механической прочности и жесткости полотна антенной системы. Однако это приводит к росту вносимых элементом ФАР СВЧ-потерь.

В конструкции элемента ФАР в качестве волноводного канала используется комбинированный феррито-ситалловый стержень. При этом диэлектрические излучатели, диэлектрические шайбы и ферритовый стержень имеют одинаковый диаметр и помещены внутрь круглого металлического волновода. При таком выполнении элемента ФАР отсутствует возможность независимо выбирать

оптимальные поперечные размеры диэлектрических излучателей, шайб и ферритового стержня и диэлектрические проницаемости материалов, из которых эти детали изготовлены. Согласование элемента ФАР [1] и ФАР в целом усложнено. Для согласования излучателя со свободным пространством на его поверхности на некотором расстоянии от волновода в ситалле выполнена замкнутая по окружности канавка конического профиля, на поверхности которой нанесено металлизированное покрытие. При этом необходимо подбирать форму, ширину и глубину канавки, а также место ее расположения на ситалловом стержне.

Недостатком данного элемента ФАР [1] является и наличие СВЧ-потерь, обусловленных резонансами на волнах высших типов. Эти волны могут распространяться в цилиндрическом ферритовом стержне при указанных в описании патента относительных диэлектрических проницаемостях материалов ферритового стержня $\epsilon_{\text{ф}}=14\dots17$ и диэлектрического излучателя $\epsilon_{\text{и}}=7,15\dots7,35$ при их равных диаметрах.

В магнитной системе приемопередающего элемента ФАР имеются немагнитные зазоры между соприкасающимися поверхностями башмаков П-образных ферритовых скоб и ферритового стержня, достигающие 30 микрон. Это приводит к увеличению полей рассеяния, неоднородности намагничивания ферритового стержня и уменьшению его эффективной длины. В этом случае для создания требуемого регулируемого фазового сдвига требуется увеличивать длину ферритового стержня, что, в свою очередь, приводит к росту уровня вносимых СВЧ-потерь. К таким же последствиям приводит выбранная конфигурация и размеры башмаков ферритовых скоб, имеющих пазы в средней части и контактирующих с поверхностью ферритового стержня не по всему периметру его поперечного сечения.

Низкие прочность и стойкость элемента ФАР [1] к ударным и вибрационным воздействиям обусловлены отсутствием корпуса элемента ФАР и большим отношением его длины к диаметру феррито-ситаллового стержня.

Приемопередающий элемент ФАР [1] отличается сложностью изготовления отдельных деталей и его сборки. Процесс его производства включает в себя ряд сложных технологических операций. К ним относятся, например, алмазное шлифование длинного феррито-ситаллового стержня со сложной боковой поверхностью и внутренней поверхности башмаков ферритовых скоб, которые должны плотно без зазоров примыкать к боковой поверхности цилиндрического ферритового стержня с круглой формой поперечного сечения.

Известен антенный элемент проходной ФАР, частично свободный от недостатков, присущих аналогу [1], и описанный в патенте России №2322737 [2] (Патент России №2322737, МПК H01Q 21/00, от 04.12.2006). Антенный элемент проходной фазированной антенной решетки содержит диэлектрические излучатели и фазовращатель, состоящий из намагничивающей обмотки, расположенной внутри магнитопровода, и цилиндрического ферритового стержня, установленного внутри намагничивающей обмотки. Цилиндрический ферритовый стержень и диэлектрические излучатели заключены в общий отрезок металлизированного круглого волновода и выполнены из материалов с высокой одинаковой или близкой по значению друг другу диэлектрической проницаемостью. Диэлектрические излучатели содержат цилиндрическую часть и одними торцами жестко соединены с торцами цилиндрического ферритового стержня, а на их других торцах выполнены удлинения в виде усеченных конусов, причем диаметр основания усеченных конусов меньше диаметра цилиндрической части диэлектрического излучателя. При этом концы

общего отрезка металлизированного круглого волновода отстоят на расстоянии $(0,05\dots 0,1)\lambda_0$ от основания усеченных конусов, высота которых составляет $(0,8\dots 1,2)\lambda_0$, где λ_0 - центральная длина волны 10-процентного диапазона, диаметр основания усеченных конусов составляет $(0,8\dots 0,9)$, а диаметр их вершин - $(0,5\dots 0,6)$ диаметра цилиндрической части диэлектрического элемента.

В антенном элементе проходной ФАР [2] решалась задача снижения трудоемкости и стоимости производства антенного элемента ФАР за счет упрощения его конструкции. В частности, он не содержит кольцевых металлизированных канавок на цилиндрических частях диэлектрических излучателей. Однако фазовращатель элемента ФАР [2] выполнен также, как и у элемента ФАР [1], и ему присущи те же недостатки, которые перечислены выше, в том числе - резонансные пики потерь СВЧ-энергии на высших типах волн. Кроме того, из-за высокой диэлектрической проницаемости материала излучателей, которая одинакова или близка к диэлектрической проницаемости материала ферритового стержня, неизбежно увеличение СВЧ-потерь в ФАР из-за рассогласования ее раскрытов со свободным пространством в секторе сканирования луча.

Наиболее близким по технической сути и совокупности существенных признаков к предлагаемому элементу ФАР является элемент фазированной антенной решетки по патенту России №2325741 [3] (Патент России №2325741 С1, МПК H01Q 21/00, H01P 1/19, от 06.10.2006), выбранный в качестве прототипа. В этом патенте описан элемент фазированной антенной решетки, содержащий приемный и апертурный диэлектрические излучатели, волноводный ферритовый фазовращатель (ФВ), состоящий из цилиндрического ферритового стержня (ФС) в виде правильной N-гранной призмы ($N>4$), размещенного вместе с обмоткой его продольного намагничивания внутри внешнего магнитопровода, выполненного в виде N П-образных ферритовых скоб, каждая из которых состоит из полочки и двух башмаков, прилегающих плоскими подошвами к одной из N граней ФС, и волновода ФВ, образованного тонкой пленкой токопроводящего покрытия боковой поверхности ФС, приемный и апертурный волноводы, состоящие из волноводов излучателей, согласующих и соединительных волноводов. Диаметр согласующих волноводов больше или равен диаметру окружности, описанной вокруг поперечного сечения ФС. Между торцами ФС и хвостовиками диэлектрических излучателей установлены диэлектрические вставки, каждая из которых выполнена в виде последовательного соосного соединения шайбы, установленной вдоль оси внутри согласующего волновода, и стержня, установленного вдоль оси внутри отверстия в цилиндрическом хвостовике диэлектрического излучателя, выполненного из материала с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{и}=3,8\dots 4,2$. Размеры согласующей диэлектрической вставки, площади поперечных сечений волноводов излучателей $S_{и}$, согласующих волноводов $S_{с}$, ферритового стержня $S_{ф}$ и диэлектрическая проницаемость материала диэлектрической вставки $\epsilon_{в}$ выбираются, исходя из обеспечения согласования фазовращателя с излучателями и обеспечения одноволнового режима работы всех волноводов элемента ФАР. Элемент ФАР содержит корпус, выполненный в виде тонкостенной цилиндрической гильзы, на наружной поверхности которой расположена печатная плата, к контактам которой присоединены провода обмотки намагничивания, выведенные через прорези в стенке корпуса.

Этому элементу ФАР [3], выбранному в качестве прототипа, присущи такие недостатки, как большие поперечные размеры, большие СВЧ-потери, сложность конструкции, низкая технологичность и низкие прочность и стойкость к ударным и

вибрационным воздействиям.

Большие поперечные размеры элемента ФАР, ограничивающие ширину сектора электрического сканирования луча фазированной антенной решетки, составленной из подобных элементов, обусловлены, в первую очередь, выбором для изготовления излучателей материала с малой диэлектрической проницаемостью $\epsilon_n=3,8 \dots 4,2$, большими поперечными размерами ФС и неоптимальной конфигурацией ферритовых скоб внешнего магнитопровода.

Большие СВЧ-потери элемента ФАР наряду с СВЧ-потерями в фазовращателе и излучателях определяются также рассогласованием ФВ и диэлектрического излучателя вследствие неизбежного возникновения при сборке осевых зазоров между плоскостями стыков диэлектрических излучателей, диэлектрических вставок, плоскостями стыков волноводов и торцами ФС. Кроме того, отражение электромагнитных волн от плоскостей торцов диэлектрических излучателей возрастает при увеличении их диаметров и диэлектрической проницаемости ϵ_n материала и уменьшении расстояния между осями диэлектрических стержней, то есть шага антенной решетки [4] (Крехтунов В.М., Тюлин В.А. Дифракция электромагнитных волн на двумерно-периодической решетке полубесконечных диэлектрических стержней // Радиофизика, Т.26, №1, Издание горьковского университета и научно-исследовательского радиопизического института, 1983. - С.74-81).

К усложнению конструкции элемента ФАР и снижению ее технологичности приводит использование диэлектрической вставки сложной конфигурации, диэлектрических стержней с отверстиями вдоль их продольных осей и излишнее усложнение корпуса элемента ФАР размещением на нем печатной платы с контактными площадками.

Низкие прочность и стойкость элемента ФАР [3] к механическим воздействиям обусловлены тем, что весь ферритовый блок, включающий ферритовый стержень, обмотку намагничивания и ферритовые скобы внешнего магнитопровода, удерживаются внутри корпуса лишь за счет клеевого соединения концов ферритового стержня с соединительными волноводами.

Задачей предлагаемого изобретения является устранение недостатков, присущих известному элементу ФАР [3], выбранному в качестве прототипа, т.е. уменьшение его поперечных размеров, снижение уровня вносимых СВЧ-потерь и увеличение коэффициента усиления ФАР, упрощение конструкции, повышение ее технологичности, прочности и стойкости к ударным и вибрационным воздействиям.

Решение поставленной задачи достигается тем, что в элементе проходной фазированной антенной решетки, содержащем приемный и апертурный диэлектрические излучатели, волноводный ферритовый фазовращатель, состоящий из цилиндрического ферритового стержня в виде правильной N-гранной призмы ($N \geq 4$), размещенного вместе с обмоткой его продольного намагничивания внутри внешнего магнитопровода, выполненного в виде N П-образных ферритовых скоб, каждая из которых состоит из полочки и двух башмаков, прилегающих плоскими подошвами к одной из N граней ФС, волновода ФВ, образованного тонкой пленкой токопроводящего покрытия боковой поверхности ФС, приемный и апертурный волноводы, состоящие из волноводов излучателей, согласующих и соединительных волноводов, диэлектрические вставки, размещенные между торцами ферритового стержня и хвостовиками диэлектрических излучателей, и корпус в виде цилиндрической гильзы, через прорези в стенке которого выведены провода обмотки

намагничивания, согласно изобретению дополнительно содержит выполненные из диэлектрика шайбы, размещенные на ферритовом стержне между концами обмотки намагничивания и башмаками ферритовых скоб и примыкающие внешней цилиндрической поверхностью к внутренней цилиндрической поверхности корпуса,

5 диэлектрические вставки выполнены в виде шайб из материала, например сверхвысокочастотной керамики, с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_v=9,5 \dots 10,5$, внешняя поверхность полочки каждой ферритовой скобы выполнена по форме внутренней поверхности корпуса, каждый из диэлектрических излучателей выполнен

10 сплошным из материала, например сверхвысокочастотной керамики, с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_n=4,75 \dots 5,25$, включает цилиндрическую часть длиной $\ell_{ц}=(0,1 \dots 0,3)\lambda_0$, на торце с меньшим диаметром которой у приемного диэлектрического излучателя установлен дополнительный согласующий приемный

15 трансформатор в виде круглого стержня длиной $\ell_1=(0,2 \dots 0,25)\lambda_1$, где λ_0 - длина волны в свободном пространстве, λ_1 - длина синфазной волны в антенной решетке, составленной из стержней приемных трансформаторов, а на торце с меньшим диаметром конической части апертурного диэлектрического излучателя установлен

20 дополнительный согласующий апертурный трансформатор в виде круглого стержня длиной $\ell_2=(0,2 \dots 0,25)\lambda_2$, где λ_2 - длина синфазной волны в антенной решетке, составленной из стержней апертурных трансформаторов, при этом соединительные волноводы имеют поперечное сечение в виде правильного N-угольника с размерами поперечного сечения ФС с учетом толщины пленки токопроводящего покрытия и

25 слоя токопроводящего клея толщиной $0,1 \dots 0,15$ мм.

Наличие отличительных признаков у предлагаемого элемента ФАР позволяет сделать вывод о том, что предложенное техническое решение соответствует критерию "новизна".

Предлагаемое изобретение поясняется чертежом, где на фиг.1 показан элемент

30 проходной ФАР, на фиг.2 показано продольное сечение элемента проходной ФАР, на фиг.3 показано поперечное сечение элемента проходной ФАР в месте расположения башмаков ферритовых скоб (сечение А-А на фиг.2), на фиг.4 показано поперечное сечение элемента проходной ФАР в месте расположения центрирующих

35 диэлектрических шайб (сечение Б-Б на фиг.2), на фиг.5 показано поперечное сечение элемента проходной ФАР в месте расположения полочек ферритовых скоб внешнего магнитопровода (сечение В-В на фиг.2). На фиг.2 ... фиг.5 показан элемент проходной ФАР и его сечения для случая N=4.

На чертеже обозначено: 1 - приемный диэлектрический излучатель; 2 - апертурный

40 диэлектрический излучатель; 3 - приемный волновод; 4 - апертурный волновод; 5, 6 - волноводы излучателей; 7, 8 - согласующие волноводы; 9, 10 - соединительные волноводы; 11 - волновод фазовращателя; 12 - ферритовый стержень; 13, 14 - концы ферритового стержня; 15 - обмотка намагничивания; 16, 17 - провода обмотки

45 намагничивания; 18а, 18б, 18в, 18г - ферритовые скобы внешнего магнитопровода; 19а, 19б, 19в, 19г - полочки ферритовых скоб; 20а, 20б, 20в, 20г - башмаки ферритовых скоб; 21, 22 - диэлектрические вставки; 23, 24 - шайбы; 25 - корпус; 26, 27 - прорези в стенке корпуса; 28 - хвостовик приемного диэлектрического излучателя; 29 -

50 цилиндрическая часть приемного диэлектрического излучателя; 30 - коническая часть приемного диэлектрического излучателя; 31 - согласующий приемный трансформатор; 32 - хвостовик апертурного диэлектрического излучателя; 33 - цилиндрическая часть апертурного диэлектрического излучателя; 34 - коническая часть апертурного диэлектрического излучателя; 35 - согласующий апертурный

трансформатор.

Предлагаемый элемент проходной фазированной антенной решетки работает следующим образом.

В режиме передачи электромагнитная волна, поляризованная по кругу, излучаемая облучателем фазированной антенной решетки, составленной из предлагаемых элементов проходной ФАР (не показана), принимается приемным диэлектрическим излучателем 1 и возбуждает в его цилиндрической части 29 волну типа HE_{11} диэлектрического волновода, а затем волну типа H_{11} в волноводе 5 приемного излучателя. Затем электромагнитная волна проходит через согласующий волновод 7 и соединительный волновод 9 и возбуждает в волноводе фазовращателя 11 низшую волну типа H_1 N-угольного волновода, заполненного ферритовой средой. С выхода ферритового фазовращателя электромагнитная волна поступает в соединительный волновод 10, согласующий волновод 8, волновод 6 апертурного излучателя и излучается в свободное пространство апертурным диэлектрическим излучателем 2.

Фаза излучаемой элементом проходной ФАР электромагнитной волны, поляризованной по кругу, зависит от длины волны, формы поперечного сечения, размеров излучателей и волноводов, а также параметров материалов диэлектрических стержней, диэлектрических вставок и ферритового стержня. Дополнительное изменение фазы электромагнитной волны в интервале $\Delta\varphi=0\dots2\pi$ осуществляется посредством волноводного ферритового фазовращателя фарадеевского типа путем изменения параметров ферритовой среды при ее продольном намагничивании. Поле намагничивания создается в ферритовом стержне обмоткой намагничивания 15, соединенной с системой управления лучом ФАР (не показана) проводами 16 и 17, выведенными через прорези 26 и 27 в стенке корпуса 25.

В режиме приема из свободного пространства на апертурный диэлектрический излучатель 2 падает плоская поляризованная по кругу электромагнитная волна с противоположным направлением вращения и принимается им. Затем электромагнитная волна последовательно проходит через отрезки волноводов волноводного канала элемента ФАР в обратном направлении, получает такое же, как и в режиме передачи, дополнительное изменение фазы $\Delta\varphi$ в фазовращателе и излучается приемным диэлектрическим излучателем 1 в направлении облучателя ФАР.

Длины $l_{ц1}$ и $l_{к1}$ приемного и $l_{ц2}$ и $l_{к2}$ апертурного диэлектрических излучателей выбираются с учетом конструктивных особенностей конкретной проходной ФАР и требований, предъявляемых к ее электрическим характеристикам (геометрия расположения излучателей в раскрыве, шаг антенной решетки, сектор сканирования луча, геометрия системы возбуждения). Диаметры на концах конических частей приемного и апертурного диэлектрических излучателей выбираются из условий согласования со свободным пространством и достаточной механической прочности. Диаметры цилиндрических частей приемного и апертурного диэлектрических излучателей, а также волноводов излучателей выбираются из условия одноволнового режима работы. При этом параметры приемного излучателя выбираются из условия обеспечения эффективности возбуждения приемной антенной решетки и формирования требуемого амплитудного распределения поля по ее элементам.

Параметры апертурного излучателя выбираются с учетом требуемого изменения коэффициента усиления ФАР в секторе электрического сканирования луча.

Введение цилиндрических участков 29 и 33 диэлектрических излучателей, выступающих из приемного 3 и апертурного 4 волноводов элемента проходной ФАР, повышает эффективность возбуждения поверхностных волн в диэлектрических

излучателях, а их длины выбираются из условия согласования входов диэлектрических излучателей с выходами возбуждающих их волноводов.

5 Введение цилиндрических согласующих трансформаторов 31 и 35, примыкающих к плоскостям вершин усеченных диэлектрических конусов 30 и 34, способствует
улучшению согласования торцов диэлектрических излучателей 1 и 2 со свободным
пространством в диапазоне частот и в секторе сканирования луча ФАР и тем самым
уменьшает СВЧ-потери на отражение от приемной и апертурной антенных решеток,
повышает эффективность возбуждения волны типа HE_{11} в диэлектрических
10 излучателях, что увеличивает амплитуду волны, прошедшей через элемент проходной ФАР.

Изготовление приемного 1 и апертурного 2 диэлектрических излучателей из
материала с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{и}=4,75\dots 5,25$, более
высокой по сравнению с прототипом, а также выполнение внешней поверхности
15 полочки 19 каждой ферритовой скобы по форме внутренней поверхности корпуса 25
позволяет уменьшить поперечные размеры элемента отражательной ФАР. Это
позволяет устанавливать элементы отражательной ФАР в антенной решетке с
меньшим шагом и таким образом обеспечить более широкий сектор сканирования
20 луча антенны.

Введение центрирующих шайб 23 и 24 позволяет упростить сборку элемента
отражательной ФАР и повысить его стойкость к внешним механическим воздействиям
за счет улучшения фиксации ферритового блока внутри корпуса.

25 Предлагаемый элемент проходной ФАР конструктивно прост, технологичен,
отличается простотой изготовления отдельных деталей и сборки, характеризуется
низкой трудоемкостью и невысокой стоимостью. Для его создания в условиях
серийного производства нет необходимости разрабатывать новые материалы и
использовать дорогостоящие технологические процессы, достаточно использовать
30 нормализованные серийно выпускаемые материалы, клеи и освоенные
технологические процессы.

Приемный 1 и апертурный 2 диэлектрические излучатели из материала с
относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{и}=4,75\dots 5,25$, например, из
35 композитного материала типа МСТ-5 [5] (Сверхвысокочастотные магнитные и
диэлектрические материалы. Каталог. - Санкт-Петербург: Открытое акционерное
общество «Завод Магнетон», 2004. - 12 с.) могут быть изготовлены литьем,
прессованием или механической обработкой. Аналогичным образом могут быть
изготовлены диэлектрические вставки 21 и 22 из материала с относительной
40 диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{в}=9,5\dots 10,5$, например из композитного материала
типа МСТ-10 [5].

Приемный 3 и апертурный 4 волноводы, включающие круглые согласующие
волноводы 7 и 8, волноводы излучателей 5 и 6, а также соединительные волноводы 9
и 10, могут быть изготовлены на современном высокопроизводительном
45 оборудовании.

Не вызывает больших трудностей изготовление бескаркасной обмотки
намагничивания 15, ферритового стержня 12 с плоскими гранями, на боковую
поверхность которого нанесено токопроводящее покрытие, П-образных скоб 18 из
50 феррита с башмаками 20, имеющими плоские подошвы, корпуса 25 в виде
тонкостенной гильзы с прорезями 26 и 27 в стенке и центрирующих диэлектрических
шайб 23 и 24.

Сборку предлагаемого элемента проходной ФАР целесообразно осуществлять

клеевым соединением отдельных деталей с использованием промышленных нормализованных клеев. В частности, для клеевого соединения концов ФС 13 и 14 с соединительными волноводами 9 и 10 может быть использован электропроводный клей, например марки ЭК-С [6] (Электропроводный клей ЭК-С. Новости СВЧ-техники. - Фрязино: ГНПП «Исток», 1999, №1. - С.14), применяемый при монтажных операциях при производстве изделий электронной техники, или аналогичный ему клей. Для клеевого соединения других деталей элемента проходной ФАР должны использоваться неэлектропроводные клеи, не вносящие дополнительных СВЧ-потерь.

Согласующая диэлектрическая вставка 21 в виде шайбы соединяется с приемным диэлектрическим излучателем 1 клеевым соединением.

Аналогично, согласующая диэлектрическая вставка 22 в виде шайбы соединяется с апертурным диэлектрическим излучателем 2 клеевым соединением.

Приемный диэлектрический излучатель 1 с диэлектрической вставкой 21 устанавливается в приемный волновод 3 и соединяется с ним клеевым соединением, образуя сборочную единицу - приемный излучатель.

Аналогично, апертурный диэлектрический излучатель 2 с диэлектрической вставкой 22 устанавливается в апертурный волновод 4 и соединяется с ним клеевым соединением, образуя сборочную единицу - апертурный излучатель.

Сборочная единица в виде волноводного ферритового фазовращателя, включающего ферритовый стержень 12 с токопроводящим покрытием боковой поверхности, обмотку намагничивания 15, центрирующие шайбы 23 и 24 и магнитопровод в виде системы П-образных ферритовых скоб 18, устанавливается концом ферритового стержня 13 в отверстие соединительного волновода 9, и волновод фазовращателя 11 соединяется с согласующим волноводом 7 клеевым соединением с использованием электропроводного клея.

Приемный излучатель, соединенный с ферритовым фазовращателем, устанавливается в корпус 25 элемента проходной ФАР, который соединяется с волноводом излучателя 5 клеевым соединением. При этом провода обмотки намагничивания 16 и 17 выводятся из корпуса 25 через продольные прорезы 26 и 27 в его стенке.

Сборочная единица в виде апертурного излучателя устанавливается в корпус 25 элемента проходной ФАР, а конец ферритового стержня 14 устанавливается в отверстие соединительного волновода 10. При этом волновод излучателя 6 соединяется клеевым соединением с корпусом 25 элемента проходной ФАР. Одновременно конец волновода фазовращателя 11 соединяется с согласующим волноводом 8 клеевым соединением с использованием токопроводящего клея.

Эффективность предложенного технического решения проверена экспериментально на макетах элементов проходных фазированных антенных решеток миллиметрового диапазона длин волн в полосе частот прямоугольного волновода сечением $7,2 \times 3,4$ мм². Макет элемента проходной ФАР весит не более 2 грамм и имеет поперечный размер не более $0,5\lambda$. Использование предлагаемого изобретения позволяет существенно улучшить технические характеристики фазированных антенных решеток. При указанном поперечном размере элементы ФАР в раскрытии антенной решетки могут располагаться на расстояниях, обеспечивающих двумерное широкоугольное электрическое сканирование луча с отклонением его от нормали к раскрытию на угол до 70° .

Элемент проходной фазированной антенной решетки может быть эффективно использован например в антенных системах радиолокационных комплексов как

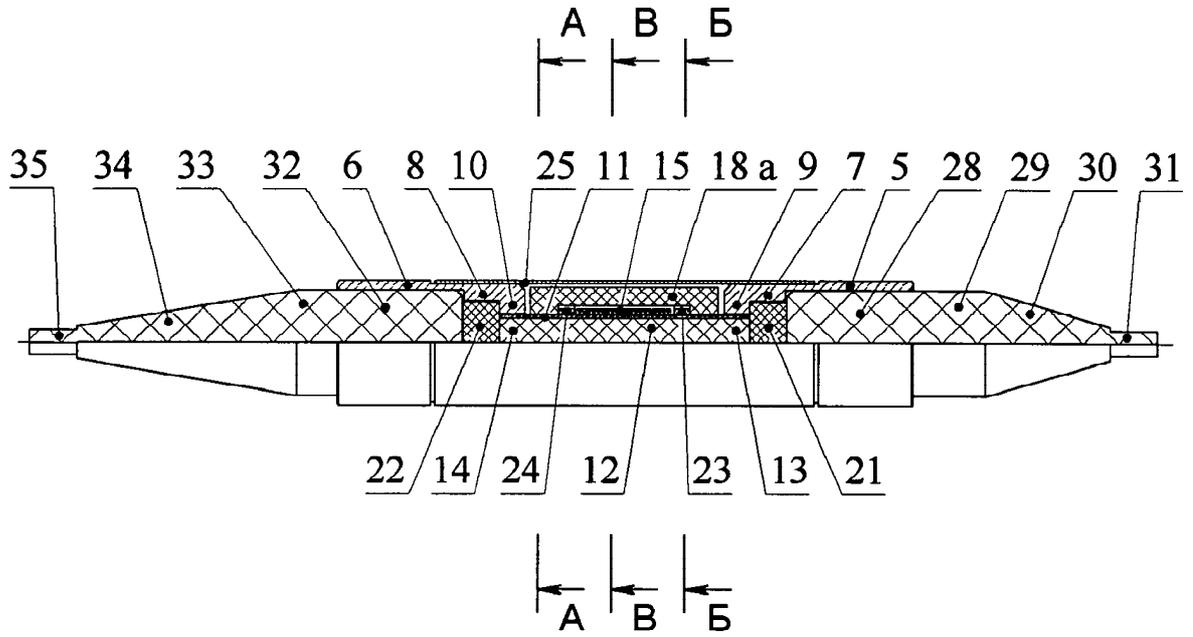
стационарных, так и мобильных, наземного, морского и воздушного базирования, в том числе функционирующих в условиях повышенных механических воздействий.

Отмеченное выше подтверждает соответствие указанного технического решения критерию "промышленная применимость".

Технический результат состоит в разработке элемента проходной фазированной антенной решетки с уменьшенными потерями, уменьшенным диаметром и одновременно с упрощением конструкции, повышением ее технологичности и стойкости к внешним механическим воздействиям.

Формула изобретения

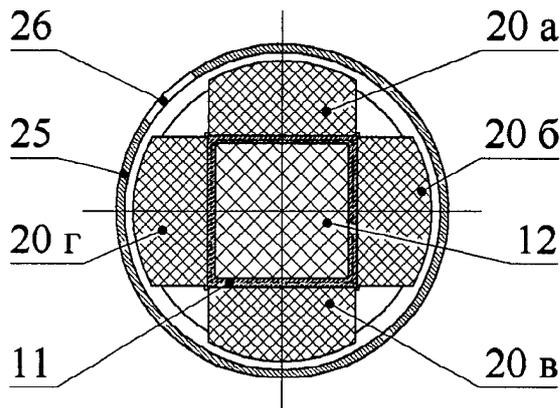
Элемент проходной фазированной антенной решетки (ФАР), содержащий приемный и апертурный диэлектрические излучатели, волноводный ферритовый фазовращатель, состоящий из цилиндрического ферритового стержня в виде правильной N-гранной призмы ($N \geq 4$), размещенного вместе с обмоткой его продольного намагничивания внутри внешнего магнитопровода, выполненного в виде N П-образных ферритовых скоб, каждая из которых состоит из полочки и двух башмаков, прилегающих плоскими подошвами к одной из N граней ферритового стержня, волновода ферритового фазовращателя, образованного тонкой пленкой токопроводящего покрытия боковой поверхности ферритового стержня, приемный и апертурный волноводы, состоящие из волноводов излучателей, согласующих и соединительных волноводов, диэлектрические вставки, размещенные между торцами ферритового стержня и хвостовиками диэлектрических излучателей, и корпус в виде цилиндрической гильзы, через прорези в стенке которого выведены провода обмотки намагничивания, отличающийся тем, что дополнительно содержит выполненные из диэлектрика шайбы, размещенные на ферритовом стержне между концами обмотки намагничивания и башмаками ферритовых скоб и примыкающие внешней цилиндрической поверхностью к внутренней цилиндрической поверхности корпуса, диэлектрические вставки выполнены в виде шайб из материала с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_v = 9,5 \dots 10,5$, внешняя поверхность полочки каждой ферритовой скобы выполнена по форме внутренней поверхности корпуса, каждый из диэлектрических излучателей выполнен сплошным из материала с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_n = 4,75 \dots 5,25$ и включает цилиндрическую часть длиной $\ell_n = (0,1 \dots 0,3)\lambda_0$, выступающую из волновода излучателя, примыкающую к ней коническую часть длиной $\ell_k = (0,3 \dots 2,5)\lambda_0$, на торце с меньшим диаметром которой у приемного диэлектрического излучателя установлен дополнительный согласующий приемный трансформатор в виде круглого стержня длиной $\ell_1 = (0,2 \dots 0,25)\lambda_1$, где λ_0 - длина волны в свободном пространстве, λ_1 - длина синфазной волны в антенной решетке, составленной из стержней приемных трансформаторов, а на торце с меньшим диаметром конической части апертурного диэлектрического излучателя установлен дополнительный согласующий апертурный трансформатор в виде круглого стержня длиной $\ell_2 = (0,2 \dots 0,25)\lambda_2$, где λ_2 - длина синфазной волны в антенной решетке, составленной из стержней апертурных трансформаторов, при этом соединительные волноводы имеют поперечное сечение в виде правильного N-угольника с размерами поперечного сечения ФС с учетом толщины пленки токопроводящего покрытия и слоя токопроводящего клея толщиной $0,1 \dots 0,15$ мм.



Продольное сечение элемента проходной фазированной антенной решетки

Фиг. 2

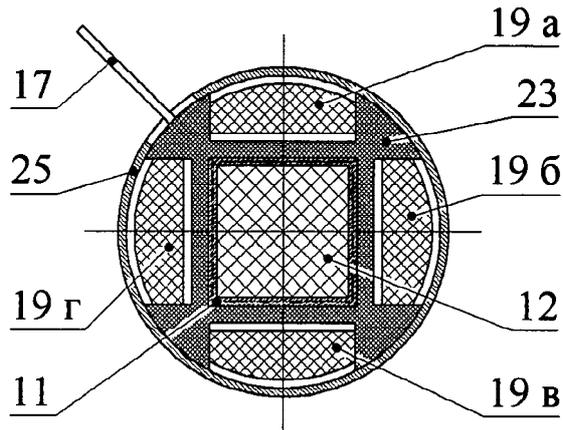
A-A



Поперечное сечение элемента проходной ФАР в месте расположения башмаков ферритовых скоб (сечение AA на фиг.2)

Фиг. 3

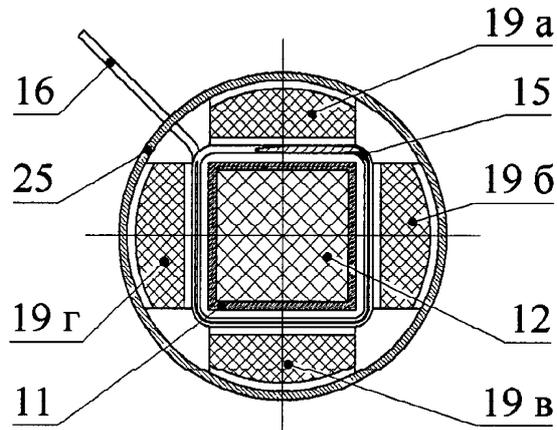
Б-Б



Поперечное сечение элемента проходной ФАР в месте расположения центрирующих диэлектрических шайб (сечение ББ на фиг. 2)

Фиг. 4

В-В



Поперечное сечение элемента проходной ФАР в месте расположения полочек ферритовых скоб внешнего магнитопровода (сечение ВВ на фиг.2)

Фиг. 5