



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21)(22) Заявка: **2010154293/07**, **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 2184410 C1**, **27.06.2002**. **RU 2325741 C1**, **27.05.2008**. **RU 51791 U1**, **27.02.2006**. **FR 2668304 A1**, **24.04.1992**. **EP 2165118 A1**, **24.03.2010**.

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

**Русов Юрий Сергеевич (RU),
Голубцов Максим Евгеньевич (RU),
Крехтунов Владимир Михайлович (RU),
Нефедов Сергей Игоревич (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) МОДУЛЬ ПРОХОДНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ**

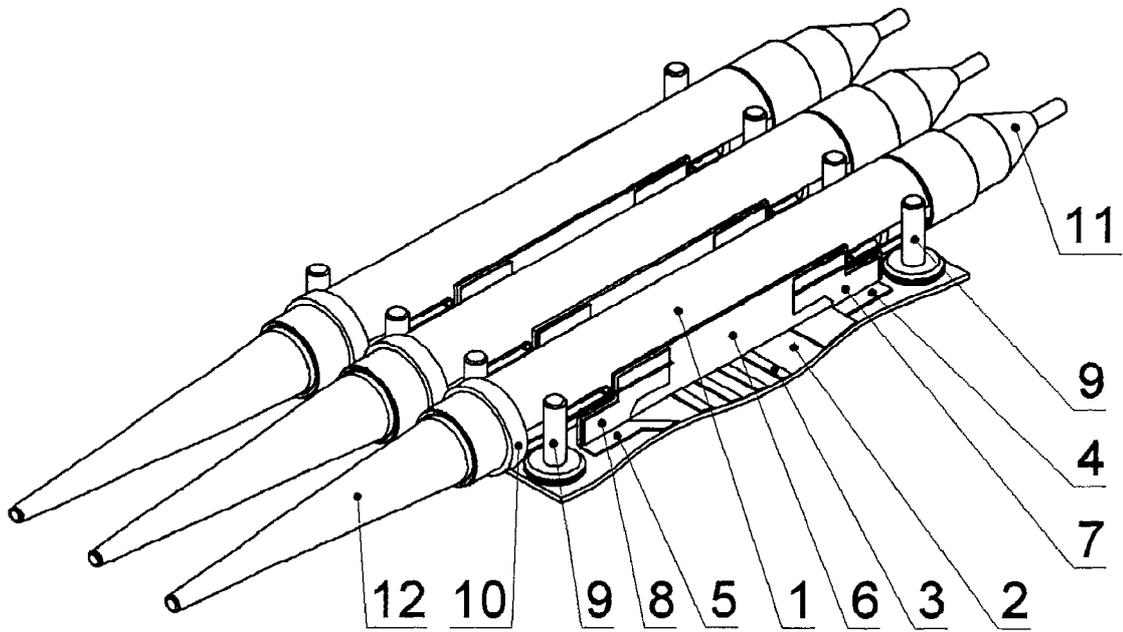
(57) Реферат:

Изобретение относится к области радиотехники СВЧ и КВЧ диапазонов. Основание модуля проходной ФАР выполнено в виде жесткой пластины, содержащей печатные проводники с контактными площадками и штыри, установленные вдоль пластины по обе ее стороны, между которыми на пластине размещены элементы ФАР. Корпуса установлены на пластине и соединены с ней клеевым соединением, а контактные площадки печатной платы элемента ФАР соединены с выводами обмотки намагничивания и припаяны к контактным площадкам основания модуля проходной ФАР. Элемент ФАР пропускает электромагнитные волны, поляризованные по кругу, и содержит приемный и апертурный диэлектрические излучатели (ДИ),

волноводный ферритовый фазовращатель (ФВ) фарадеевского типа и корпус в виде тонкостенной гильзы. ФВ состоит из ферритового стержня (ФС) в виде N-гранной призмы ($N \geq 4$), размещенного вместе с обмоткой его продольного намагничивания внутри магнитопровода в виде П-образных ферритовых скоб, расположенных по одной на каждой грани ФС. Каждый ДИ имеет цилиндрическую часть внутри и вне волновода излучателя, коническую часть и на конце цилиндрический согласующий трансформатор. Повышается точность позиционирования элементов ФАР как в продольном, так и в поперечном направлениях основания модуля, расширяется сектор сканирования луча периодической антенной решетки, повышается стойкость модуля проходной ФАР к внешним механическим воздействиям. 6 ил.

RU
2 4 6 1 9 3 0
C 2

RU
2 4 6 1 9 3 0
C 2



Объемный вид модуля проходной ФАР

Фиг. 1

RU 2 4 6 1 9 3 0 C 2

RU 2 4 6 1 9 3 0 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2010154293/07, 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. Baumana, Tsentr zashchity intellektual'noj
sobstvennosti

(72) Inventor(s):

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

(73) Proprietor(s):

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

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

(57) Abstract:

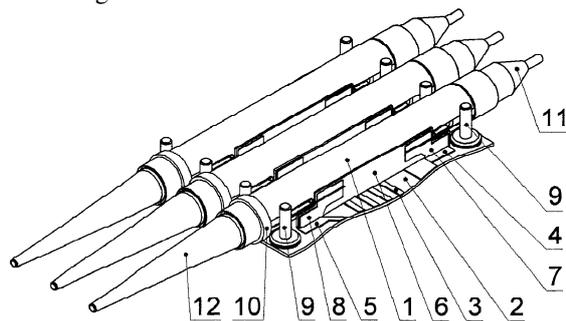
FIELD: radio engineering.

SUBSTANCE: module foundation of transmissive PAA is performed in a form of rigid plate containing printed conductors with bonding areas and pins installed along the plate on both sides between which there are PAA elements on the plate. The housings are mounted on the plate and bonded to it, bonding areas of PAA element printed-circuit board are connected to the outputs of magnetisation winding and soldered to bonding areas of module foundation of transmissive PAA. PAA element passes electro-magnetic waves polarised by circle and 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. PS 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 "П"-shaped ferrite clamps located one by one on each FR

plane. Each DR has cylindrical part inside and outside the radiator wave guide, conical part and cylindrical matching transformer at the end.

EFFECT: increase of PAA element positioning accuracy in longitudinal as well as lateral directions of module foundation, extension of beam scanning sector of regular antenna array, increase of transmissive PAA module resistance against external mechanical effects.

6 dwg



Объемный вид модуля проходной ФАР
Фиг. 1

RU 2 4 6 1 9 3 0 C 2

RU 2 4 6 1 9 3 0 C 2

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

Известны проходные ФАР 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 проходных ФАР, 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.

Проходная ФАР из упомянутых элементов может быть выполнена, например, в виде одной или двух несущих плит с отверстиями, в которые независимо друг от друга устанавливаются элементы ФАР. Конструкция такой ФАР описана, например, в [1] (Бей Н.А., Крехтунов В.М., Митрохин В.Н. Основы проектирования антенных систем с электронным управлением лучом. - М.: Издательство МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1979. - С.22-24). Такая установка элементов ФАР в раскрытие антенны эффективна лишь при малом их числе, например при $10^2 \dots 10^3$ элементов. При большем же числе элементов ФАР (10^4 и более) поэлементная установка малоэффективна, так как возникают проблемы как с установкой элементов в корпус ФАР, так и с разводкой проводов питания фазовращателей и их связи с системой управления лучом (СУЛ). В этом случае более эффективна модульная схема построения ФАР. Модуль является частью ФАР, в нем конструктивно объединены группа излучающих элементов антенной решетки, группа фазовращателей и другие функциональные узлы.

В частности, известна ФАР, содержащая более 10^4 элементов, описанная в статье [2] (Bounkin B.V., Lemansky A.A. Experience of development and industrial production of X-band passive phased antenna arrays. (Опыт разработки и серийного производства пассивных фазированных антенных решеток X-диапазона). International Conference on Radar, Paris, 3-6 May, 1994. A.3. Antenna design. - P.20-24). Здесь описана история разработки ФАР системы С-300 ПМУ.

Элемент проходной ФАР [2] описан в патенте [3] (Патент России №2184410, МПК H Q 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, опирающиеся 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 $\epsilon_{\text{ф}}=14...17$, согласующие шайбы выполнены из материала, например ситалла, с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{\text{ш}}=9...11$, а диэлектрические излучатели выполнены из материала, например ситалла, с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{\text{и}}=7,15...7,35$.

Каждый элемент ФАР [2] имел индивидуальный пульт управления, низкочастотный разъем для соединения с информационными линиями и сетью питания решетки и кожух и устанавливался в раскрыве ФАР индивидуально, что усложняет конструкцию устройства и увеличивает трудоемкость сборки.

Позже был разработан модуль элементов решетки применительно к системе С-300 ПМУ, который включает 16 элементов и общий многослойный пульт управления.

Применение модульной структуры вместо индивидуальной позволяет уменьшить число деталей, распределенных среди 16 элементов решетки, в 10 раз и снизить трудовые затраты на изготовление модуля.

Элементу ФАР системы С-300 ПМУ [3] и ФАР в целом присущ ряд недостатков. Для элемента ФАР 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.

Недостатками ФАР [2] в целом являются низкая степень интеграции элементов и большое число модулей, сложность установки и замены модулей и низкая надежность ФАР. Последнее обусловлено тем, что надежность отдельного интегрированного элемента ФАР определяется надежностью электронных компонентов, размещенных непосредственно в элементе ФАР.

Известен модуль ФАР, частично свободный от недостатков, присущих аналогу [2], принятый за прототип и описанный в статье [4] (Долгачев А.В. Конструктивно оптимальные неэквидистантные ФАР. / Фазотрон. Информационно-аналитический журнал. №1-2 (10), 2007. - С.23-27). Здесь описан унифицированный гибкий антенный модуль ФАР. Он содержит основание модуля с печатной платой с проложенными линиями разводки сигналов управления и питающих напряжений. Для минимизации числа линий разводки элемент управления фазовращателем интегрирован с последним в единую сборку. Элементы ФАР присоединены к гибкой печатной плате при помощи пайки.

Гибкому антенному модулю ФАР, принятому за прототип, присущ ряд недостатков:

1. В применениях, отличных от [4], повышенная гибкость модуля неприемлема.

2. Конструкция гибкого антенного модуля [4] не содержит устройств, фиксирующих положение элементов ФАР на основании модуля. Следствием этого могут быть погрешности установки элементов ФАР в раскрыве антенной решетки и ухудшение ее электрических характеристик.

3. Гибкий антенный модуль [4] характеризуется низкой стойкостью к механическим воздействиям.

4. Элементы ФАР [4] имеют большой диаметр (более длины волны) и, следовательно, шаг антенной решетки, существенно ограничивающий сектор сканирования луча периодической антенной решетки.

В элементе ФАР [4] сочетаются большой шаг антенной решетки (более длины волны) и короткие ступенчатые диэлектрические излучатели. В такой конструкции антенной решетки неизбежно проявляется снижение коэффициента полезного действия за счет частичного просачивания мощности падающей на антенную решетку

электромагнитной волны и рассогласования излучателей в секторе электрического сканирования луча ФАР за счет их взаимного влияния.

Технической задачей предлагаемого изобретения является устранение недостатков, присущих прототипу, а именно: повышение жесткости и прочности модуля ФАР, повышение точности позиционирования элементов ФАР на основании модуля как в продольном, так и в поперечном направлениях основания модуля, уменьшение расстояния между продольными осями соседних элементов ФАР, позволяющее расширить сектор сканирования луча периодической антенной решетки, повышение стойкости модуля ФАР к внешним механическим воздействиям.

Для достижения поставленной цели в модуле фазированной антенной решетки, содержащем основание модуля с печатной платой, элементы фазированной антенной решетки, соединенные с основанием модуля, каждый из которых содержит корпус, приемный и апертурный диэлектрические излучатели, размещенный между ними волноводный ферритовый фазовращатель, провода обмотки намагничивания фазовращателя, выведенные из корпуса, согласно изобретению основание модуля выполнено в виде жесткой пластины, например из стеклотекстолита, содержащей печатные проводники с контактными площадками и штыри, установленные вдоль пластины по обе ее стороны, между которыми на пластине размещены элементы ФАР, так что утолщения их волноводов непосредственно примыкают к боковым ребрам пластины, их корпуса установлены на пластине и соединены с ней клеевым соединением, контактные площадки печатной платы элемента ФАР соединены с выводами обмотки намагничивания и с контактными площадками основания модуля ФАР, например с применением пайки, а фазовращатель элемента ФАР состоит 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, 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 $\ell_2=(0,2\dots0,25)\lambda_2$, 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 $0,1\dots0,15$ мм.

На фиг.1 показан объемный вид модуля проходной ФАР. На фиг.2 показан вид сверху модуля проходной ФАР. На фиг.3 показан вид модуля проходной ФАР со стороны печатной платы элемента ФАР. На фиг.4 показано поперечное сечение модуля проходной ФАР в месте соединения контактной площадки элемента ФАР с контактной площадкой печатной платы модуля проходной ФАР (сечение А-А на фиг.3). На фиг.5 показано поперечное сечение модуля проходной ФАР в месте расположения штырей (сечение Б-Б на фиг.3). На фиг.6 показано поперечное сечение элемента ФАР. На фиг.4...фиг.6 показан элемент ФАР и его сечения для случая N=4.

На фиг.1 ... фиг.6 обозначено: 1 - элемент ФАР; 2 - основание модуля с печатной платой; 3 - печатный проводник; 4, 5 - контактные площадки основания модуля проходной ФАР; 6 - печатная плата элемента ФАР; 7, 8 - контактные площадки печатной платы элемента ФАР; 9 - штырь; 10 - утолщение волновода элемента ФАР; 11 - приемный диэлектрический излучатель; 12 - апертурный диэлектрический излучатель; 13 - приемный волновод; 14 - апертурный волновод; 15, 16 - волноводы излучателей; 17, 18 - согласующие волноводы; 19, 20 - соединительные волноводы; 21 - волновод фазовращателя; 22 - ферритовый стержень; 23, 24 - концы ферритового стержня; 25 - обмотка намагничивания; 26, 27 - провода обмотки намагничивания; 28 - ферритовая скоба внешнего магнитопровода; 29 а, 29 б, 29 в, 29 г - полочки ферритовых скоб; 30 - башмак ферритовой скобы; 31, 32 - диэлектрические вставки; 33, 34 - шайбы; 35 - корпус; 36, 37 - прорезы в стенке корпуса; 38- хвостовик приемного диэлектрического излучателя; 39 - цилиндрическая часть приемного диэлектрического излучателя; 40 - коническая часть приемного диэлектрического излучателя; 41 - согласующий приемный трансформатор; 42 - хвостовик апертурного диэлектрического излучателя; 43 - цилиндрическая часть апертурного диэлектрического излучателя; 44 - коническая часть апертурного диэлектрического излучателя; 45 - согласующий апертурный трансформатор.

Предлагаемый модуль проходной фазированной антенной решетки работает следующим образом.

В режиме передачи электромагнитная волна, поляризованная по кругу, излучаемая облучателем фазированной антенной решетки, составленной из предлагаемых модулей проходной ФАР (не показана), принимается приемным диэлектрическим излучателем 11 каждого элемента модуля и возбуждает в его цилиндрической части 39 волну типа HE_{11} диэлектрического волновода, а затем волну типа H_{11} в волноводе 15 приемного излучателя. Затем электромагнитная волна проходит через согласующий волновод 17 и соединительный волновод 19 и возбуждает в волноводе фазовращателя 21 низшую волну типа H_1 N-угольного волновода, заполненного ферритовой средой. С выхода ферритового фазовращателя электромагнитная волна поступает в соединительный волновод 20, согласующий волновод 18, волновод 16 апертурного излучателя и излучается в свободное пространство апертурным диэлектрическим излучателем 12.

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 25, соединенной с системой управления лучом ФАР (не показана) проводами 26 и 27, выведенными через прорези 36 и 37 в стенке корпуса 35.

В режиме приема из свободного пространства на апертурный диэлектрический излучатель 12 каждого элемента модуля ФАР 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 11 в направлении облучателя ФАР.

Введение шттырей 9 на основании модуля проходной ФАР позволяет повысить точность позиционирования элементов ФАР в продольном направлении основания модуля.

Введение утолщения 10 волновода элемента ФАР позволяет повысить точность позиционирования элементов ФАР в поперечном направлении основания модуля. 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 39 и 43 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.

Введение цилиндрических согласующих трансформаторов 41 и 45, примыкающих к плоскостям вершин усеченных диэлектрических конусов 40 и 44, способствует улучшению согласования торцов диэлектрических излучателей 11 и 12 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 излучателях, что увеличивает амплитуду волны, прошедшей через элемент проходной

ФАР.

Предлагаемый модуль проходной ФАР конструктивно прост, технологичен, отличается простотой изготовления отдельных деталей и сборки, характеризуется 5 низкой трудоемкостью и невысокой стоимостью. Для его создания в условиях серийного производства нет необходимости разрабатывать новые материалы и использовать дорогостоящие технологические процессы, достаточно использовать нормализованные серийно выпускаемые материалы, клеи и освоенные технологические процессы.

10 Приемный 11 и апертурный 12 диэлектрические излучатели элементов ФАР модуля из материала с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{и}=4,75...5,25$, например из 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 15 литьем, прессованием или механической обработкой. Аналогичным образом могут быть изготовлены диэлектрические вставки 31 и 32 из материала с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{в}=9,5...10,5$, например из композитного материала типа МСТ-10 [5].

20 Приемный 13 и апертурный 14 волноводы, включающие круглые согласующие волноводы 17 и 18, волноводы излучателей 15 и 16, а также соединительные волноводы 19 и 20 могут быть изготовлены на современном высокопроизводительном оборудовании.

25 Не вызывает больших трудностей изготовление бескаркасной обмотки намагничивания 25, ферритового стержня 22 с плоскими гранями, на боковую поверхность которого нанесено токопроводящее покрытие, П-образных скоб 28 из феррита с башмаками 30, имеющими плоские подошвы, корпуса 35 в виде тонкостенной гильзы с прорезями 36 и 37 в стенке и центрирующих диэлектрических 30 шайб 33 и 34.

Сборку предлагаемого элемента проходной ФАР целесообразно осуществлять клеевым соединением отдельных деталей с использованием промышленных нормализованных клеев. В частности, для клеевого соединения концов ФС 23 и 24 с соединительными волноводами 19 и 20 может быть использован электропроводный 35 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 40 использоваться неэлектропроводные клеи, не вносящие дополнительных СВЧ-потерь.

Эффективность предложенного технического решения проверена экспериментально на макетах модулей 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 45 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 модуле проходной ФАР могут располагаться на расстояниях, обеспечивающих двумерное широкоугольное электрическое сканирование луча с отклонением его от нормали к 50 раскрытию на угол до 70° .

Данное техническое решение применимо при создании ФАР как с малым, так и с большим числом элементов. В зависимости от конкретного числа элементов ФАР

изменяется только число модулей ФАР и число элементов ФАР в каждом из них.

Модуль 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 модуля проходной фазированной антенной решетки с уменьшенными потерями, уменьшенным шагом расположения элементов ФАР и повышенной точностью их установки и одновременно с упрощением конструкции, повышением ее технологичности и стойкости к внешним механическим воздействиям.

Формула изобретения

Модуль проходной фазированной антенной решетки (ФАР), содержащий основание модуля с печатной платой, элементы фазированной антенной решетки, соединенные с основанием модуля, каждый из которых содержит корпус, приемный и апертурный диэлектрические излучатели, размещенный между ними волноводный ферритовый фазовращатель, провода обмотки намагничивания фазовращателя, выведенные из корпуса, отличающийся тем, что основание модуля выполнено в виде жесткой пластины, содержащей печатные проводники с контактными площадками и штыри, установленные вдоль пластины по обе ее стороны, между которыми на пластине размещены элементы ФАР, так что утолщения их волноводов непосредственно примыкают к боковым ребрам пластины, их корпуса установлены на пластине и соединены с ней, контактные площадки печатной платы элемента ФАР соединены с выводами обмотки намагничивания с контактными площадками основания модуля ФАР, а фазовращатель элемента ФАР состоит 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, 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 $\epsilon_v = 9,5 \div 10,5$, внешняя поверхность полочки каждой ферритовой скобы выполнена по форме внутренней поверхности корпуса, каждый из диэлектрических излучателей выполнен сплошным из материала с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_n = 4,7 \div 5,25$ и включает цилиндрическую часть длиной $l_{ц} = (0,1 \div 0,3)\lambda_0$, выступающую из волновода излучателя, примыкающую к ней коническую часть длиной $l_{к} = (0,3 \div 2,5)\lambda_0$, на торце с меньшим диаметром которой у приемного

диэлектрического излучателя установлен дополнительный согласующий приемный трансформатор в виде круглого стержня длиной $l_1=(0,2\div 0,25)\lambda_1$, 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

5 дополнительный согласующий апертурный трансформатор в виде круглого стержня длиной $l_2=(0,2\div 0,25)\lambda_2$, где λ_2 - длина синфазной волны в антенной решетке, составленной из стержней апертурных трансформаторов, при этом соединительные

10 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 $0,1\div 0,15$ мм.

15

20

25

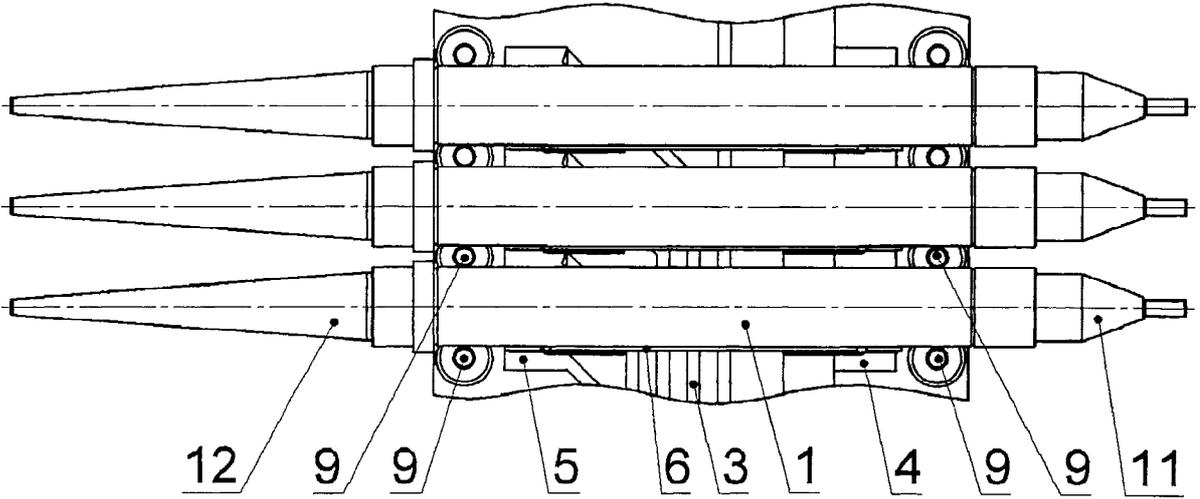
30

35

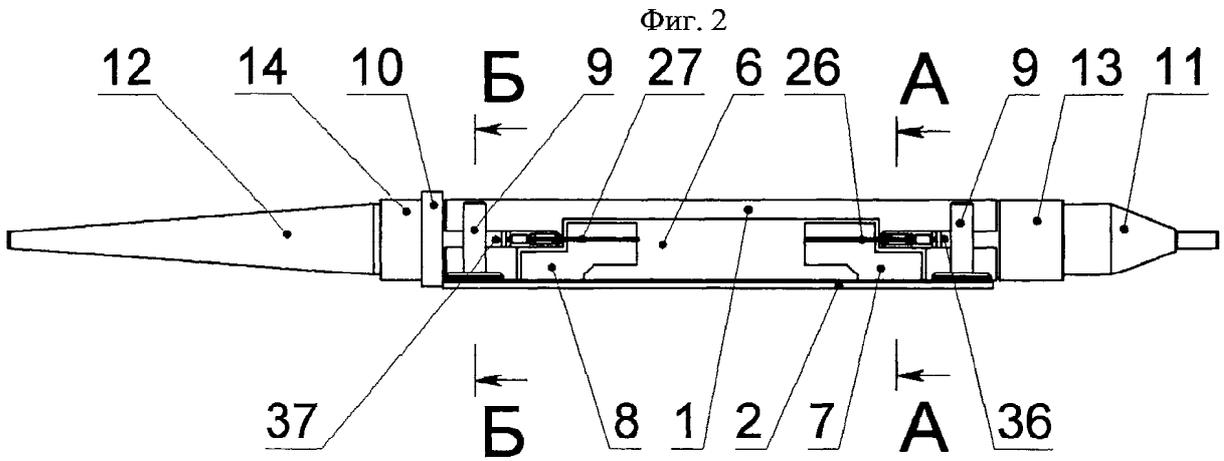
40

45

50



Вид сверху модуля проходной ФАР

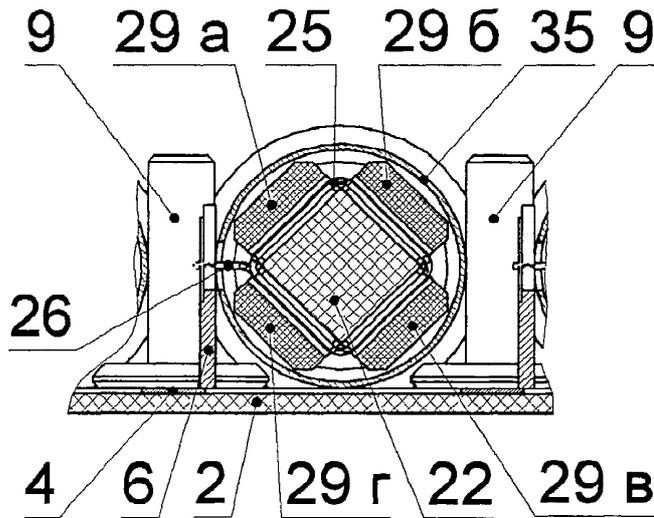


Фиг. 2

Вид модуля проходной ФАР со стороны печатной платы элемента ФАР

Фиг. 3

A-A

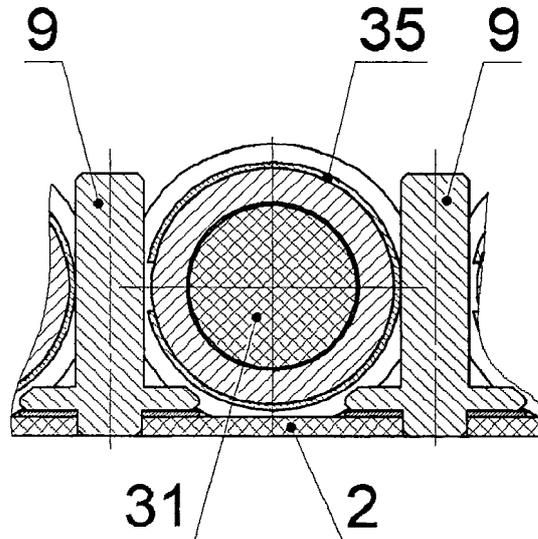


Поперечное сечение модуля проходной ФАР в месте соединения контактной площадки элемента ФАР с контактной площадкой печатной платы модуля проходной ФАР (сечение

АА на фиг. 3)

Фиг. 4

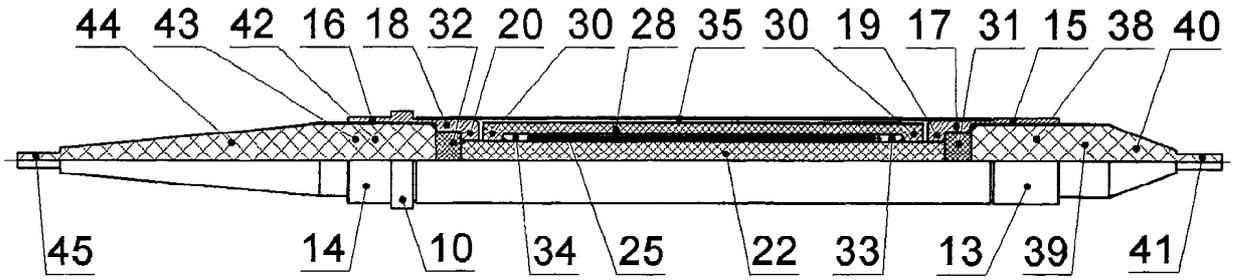
Б-Б



Поперечное сечение модуля проходной ФАР в месте расположения штырей (сечение ББ

на фиг. 3)

Фиг. 5



Поперечное сечение элемента ΦАР

Фиг. 6