

## Элемент фазированной антенной решетки по патенту № 2325741. электродинамическое моделирование

Газалиев И.Н. - студент Московского государственного  
технического университета им. Баумана, г. Москва

**Аннотация.** В статье проведен патентный поиск. Представлена техника антенн и устройств СВЧ, уровень развития которого во многом определяет состояние телекоммуникационных систем, радиолокации, навигации, связи, радиуправления. Рассчитан и спроектирован элемент ФАР проходного типа с ВФФВ для марки феррита 1СЧ12 для рабочей длины волны  $\lambda_p = 8.8$  мм.

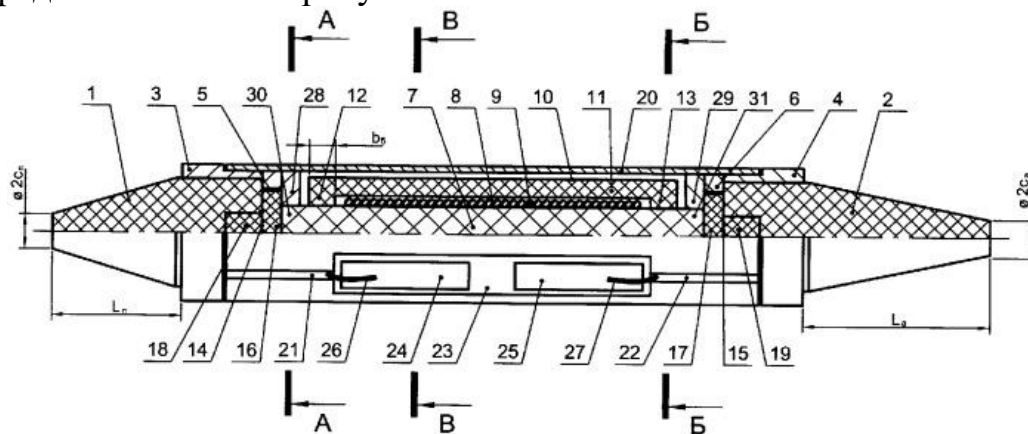
**Ключевые слова:** волноводный ферритовый фазовращатель, диаграмма направленности, сверхвысокие частоты, фазированная антенная решетка, радиуправление.

Одной из наиболее быстро развивающихся областей радиоэлектроники является техника антенн и устройств СВЧ. Уровень ее развития во многом определяет состояние телекоммуникационных систем, радиолокации, навигации, связи, радиуправления. В частности, повышенный интерес ФАР.

ФАР – антенная решетка, направление излучения и форма соответствующей ДН которой регулируются изменением амплитудно-фазового распределения токов или полей возбуждения на излучающих элементах [1].

Устройство относится к области радиотехники СВЧ диапазона, в частности к конструкциям элементов ФАР, и может быть использовано в радиолокационных системах с электрическим сканированием луча.

В данной работе производится расчёт элемента ФАР проходного типа с ВФФВ, представленного на рисунке 1.



Фиг. 1

Рисунок 1 – Эскиз элемента проходной ФАР (патент № 2325741)

Исходный элемент ФАР проходного типа содержит входной и выходной диэлектрические излучатели и ВФФВ.

Фазовращатель состоит из обмотки намагничивания 9, расположенной внутри магнитопровода 12, и установленного внутри нее ферритового

стержня 7 в виде правильной N-гранной призмы с числом граней  $N \geq 4$ . Магнитопровод выполнен в виде П-образных скоб, расположенных по одной на каждой грани ферритового стержня. Волновод элемента ФАР образован токопроводящим покрытием боковой поверхности ферритового стержня. Имеются также два волновода излучателей 1 и 2, два согласующих волновода 28 и 29, диаметр которых больше или равен диаметру окружности, описанной вокруг поперечного сечения ферритового стержня, и два короткозамыкателя с отверстиями вдоль оси [5].

Каждая согласующая диэлектрическая вставка 14 и 15 выполнена в виде последовательного соосного соединения шайбы 16 и 17 и стержня 18 и 19, установленных вдоль оси внутри отверстия в цилиндрическом хвостовике диэлектрического излучателя, который выполнен из материала с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_n = 4$ . Диэлектрические проницаемости материалов диэлектрической вставки и ферритового стержня выбраны исходя из обеспечения согласования фазовращателя с излучателями и обеспечения одноволнового режима работы.

Элемент ФАР помещен внутрь корпуса, выполненного в виде металлической цилиндрической гильзы, соединенной с волноводами излучателей клеевым соединением. На наружной поверхности корпуса расположена печатная плата, к контактам которой присоединены провода обмотки намагничивания, выведенные через пазы в корпусе.

Данный элемент ФАР проходного типа характеризуется низкими СВЧ-потерями и малым весом, простотой в изготовлении и сборке, прочностью и устойчивостью к внешним воздействиям. Выбор схемы построения элемента ФАР проходного типа с ВФФФ на основе патента № 2325741 обусловлен рядом преимуществ, описанных в патентном обзоре.

Преимущество исходного элемента ФАР (патент № 2325741) состоит в том, что он конструктивно прост, технологичен, его изготовление характеризуется низкой трудоемкостью и невысокой стоимостью. Для его создания в условиях серийного производства нет необходимости разрабатывать сложные технологические приспособления и использовать дорогостоящие технологические процессы.

Известен элемент ФАР: Авторское свидетельство СССР №1688335. (Элемент фазированной антенной решетки. МПК H01P 1/19, H01Q 21/00. Оpubл. 30.10.91. Бюл. №40).

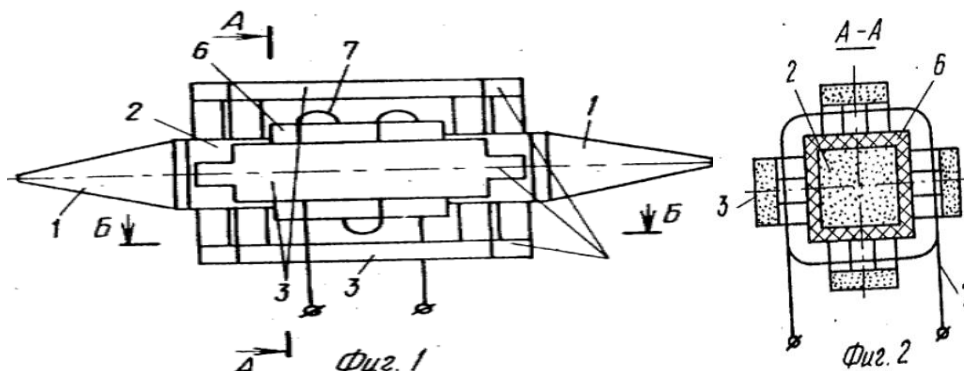


Рисунок 2 – Элемент ФАР (СССР №1688335)

Данный элемент (рисунок 2) содержит намагничивающую обмотку, диэлектрические излучатели, примыкающие к торцам цилиндрического ферритового стержня, аксиально которому расположены идентичные продольные полоски из магнитного непроводящего материала, соединенные с боковой поверхностью цилиндрического ферритового стержня посредством перемычек из магнитного непроводящего материала. Все перемычки выполнены в виде цилиндрических башмаков, площадь поперечного сечения каждого из которых выбрана равной  $0,09\lambda^2/\epsilon\delta$ , а расстояние между их идентичными боковыми поверхностями в направлении продольной оси цилиндрического ферритового стержня выбрано равным  $0,25\lambda_c$ , где  $\lambda_c$  - длина поверхностной волны, распространяющейся вдоль открытого ферритового стержня,  $\lambda$  - длина волны в свободном пространстве,  $\epsilon\delta$  - относительная диэлектрическая проницаемость материала башмака.

Недостатками данного устройства являются высокий уровень вносимых СВЧ-потерь, обусловленный рассеянием электромагнитных волн на стыке излучателей с цилиндрическим ферритовым стержнем, а также на башмаках магнитопроводов, большие поперечные размеры элемента ФАР и взаимное влияние соседних элементов ФАР друг на друга по полям СВЧ [3].

Известен приемопередающий элемент ФАР проходного типа (Патент России №2184410 (рисунок 3). Приемопередающий элемент фазированной антенной решетки. МПК H01Q 21/00, H01P 1/19. Оpubл. 27.06.2002. Бюл. №18), принятый в качестве прототипа к исходному элементу ФАР.

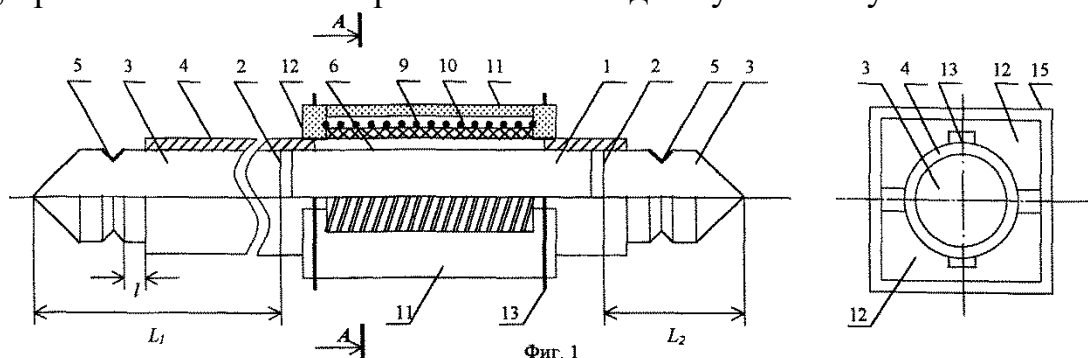


Рисунок 3 – Элемент ФАР (патент № 2184410)

Данный 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 [2].

Приемопередающий элемент ФАР, выбранный в качестве прототипа, обладает рядом недостатков по сравнению с исходным: высокий уровень вносимых СВЧ-потерь, большие габариты, сложность изготовления отдельных деталей и сборки элемента ФАР, низкие прочность и стойкость элемента ФАР к ударным и вибрационным воздействиям [4].

В исходном патенте (рисунок 1) снижение уровня вносимых СВЧ-потерь, уменьшение поперечных размеров, упрощение конструкции элемента ФАР и повышение его прочности и стойкости к внешним воздействиям достигается путем выбора ферритового стержня в виде правильной N-гранной призмы с числом граней  $N \geq 4$ , к каждой из которых примыкает одна скоба, выполненная из материала, имеющего такие же магнитные параметры, как материал ферритового стержня. Увеличение прочности и жесткости элемента ФАР и его стойкости к внешним ударным и вибрационным воздействиям обеспечивается введением в конструкцию элемента ФАР корпуса в виде тонкостенной гильзы, уменьшением длины элемента ФАР, жестким соединением отдельных его деталей друг с другом и с корпусом, например, клеевым способом.

Таким образом, был проведен патентный поиск, рассчитан и спроектирован элемент ФАР проходного типа с ВФФВ для марки феррита 1СЧ12 для рабочей длины волны  $\lambda_p = 8.8$  мм.

### Список литературы

1. Элемент фазированной антенной решетки: пат. 2325741 РФ / В.М.Крехтунов [и др.]. Заявл. 06.10.2006; опубл. 27.05.2008. Бюл. №15 // Изобретения. Полезные модели. Официальный бюллетень Федеральной службы по интел. собств.
2. Бей Н.А., Крехтунов В.М., Митрохин В.Н. Основы проектирования антенных систем с электронным управлением лучом. - М.: МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1979. - С.22-24.
3. Воскресенский Д. И. Антенны и устройства СВЧ. Расчёт и проектирование антенных решёток и их излучающих элементов. – М.: Изд-во «Советское радио», 1972. 320с.
4. Крехтунов В. М., Лавров А. В. Исследование элементов волноводного тракта приёмной антенны спутникового телевидения: Методические указания к лабораторным работам по курсу «Конструирование и производство устройств СВЧ». – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. 24 с.
5. Коммисарова Е. В. Исследование и разработка волноводных ферритовых фарадеевских фазовращателей и элементов ФАР на их основе для коротковолновой части миллиметрового диапазона волн: автореф. дис. ... канд. техн. наук. МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 2015.