

ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Область техники

Изобретение относится к технике активных фазированных антенных решеток (АФАР) и может быть широко использовано при создании радиолокационных станций мобильных и стационарных объектов, а также в системах связи.

Предшествующий уровень техники

Из уровня техники известны различные устройства, основанные на технологии АФАР.

Наиболее близким к заявленному устройству по совокупности существенных признаков является устройство двухсторонней фазированной решетки по патенту US 3648284 А, опубликованному 07.03.1972, включающее двумерные двухсторонние фазированные решетки, состоящие из приемо-передающих модулей (ППМ) с возможностью переключения на два излучателя с одним передатчиком и двумя приемниками, которые одновременно излучают и принимают в противоположных направлениях.

Недостатками данного технического решения является необходимость использования трех двухсторонних фазированных решеток для обеспечения кругового обзора, что удорожает радарную систему, малая зона сканирования в вертикальной плоскости, которая приводит к большой слепой зоне в верхней части полусферы, невозможность формирования полностью независимых лучей в противоположных направлениях из-за использования только одного фазовращателя в ППМ, что существенно снижает энергопотенциал и возможность использования в радарных системах и практически полностью исключает использование в связных системах, отсутствие возможности использования разной кодировки сигнала в противоположных направлениях, что уменьшает помехоустойчивость при одновременной передаче и приеме, невысокая эффективность в системах связи из-за использования только двумерных решеток, неудобство установки и наличие теневых секторов из-за отсутствия смещения двухсторонних решеток относительно друг друга в горизонтальной и/или вертикальной плоскости.

Раскрытие изобретения

Технический результат, достигаемый при использовании настоящего изобретения, заключается в увеличении энергопотенциала, эффективности и удешевлении радарной системы или системы связи при сохранении кругового обзора, увеличении зоны сканирования в вертикальной плоскости, обеспечении возможности формирования полностью независимых лучей в противоположных направлениях и отсутствии теневых секторов.

Технический результат, достигаемый при использовании настоящего изобретения, заключается в повышении энергопотенциала и эффективности приемопередающего устройства за счет формирования, по крайней мере, двух независимых лучей в противоположных направлениях при использовании дополнительного фазовращателя в ППМ, в удешевлении устройства за счет использования только двух двухсторонних АФАР, в исключении слепой зоны обзора устройства в верхней и/или нижней полусфере за счет использования дополнительных односторонних или двухсторонних АФАР или за счет того, что полотна каждой стороны двухсторонней активной фазированной решетки установлены под углом к друг другу в вертикальной плоскости, дополнительного повышения помехоустойчивости за счет использования различной кодировки сигнала при передаче в разные стороны, удобства расположения АФАР и исключения теневых секторов за счет смещения АФАР относительно друг друга в вертикальной и/или горизонтальной плоскости.

Указанный технический результат достигается за счет того, что в приемопередающем устройстве, содержащем активные двухсторонние фазированные антенные решетки, включающие приемопередающие модули, в каждый из которых входит два излучателя, передатчик, два приемника, два изолирующих переключателя, смесители и один фазовращатель, двухсторонние фазированные решетки выполнены одномерными или двумерными, установлены в горизонтальной плоскости относительно друг друга под углом $75 - 105^0$ с сохранением возможности кругового обзора, приемопередающий модуль снабжен дополнительными фазовращателем, при этом каждый из двух фазовращателей через переключатель постоянно подсоединен к одному из приемников или передатчику, а передатчик через переключатель и циркуляторы соединен с излучателями с возможностью попеременного соединения с излучателями с использованием разных частот и/или с применением различной кодировки сигнала, соответствующими разным частотам и кодировкам режима приема приемников с

возможностью формирования, по крайней мере, двух независимых лучей в противоположном направлении, при этом активные двухсторонние фазированные антенные решетки смещены относительно друг друга в горизонтальной и/или вертикальной плоскости.

Указанный технический результат достигается также за счет того, что полотна каждой стороны двухсторонней активной фазированной решетки могут быть установлены под углом друг к другу в вертикальной плоскости. Кроме того, приемопередающее устройство может быть дополнительно снабжено, по крайней мере, одной радарной или связной установкой, расположенной сверху и/или снизу от приемопередающего устройства, выполненной с возможностью сканирования в двух плоскостях таким образом, чтобы излучать вверх и/или вниз. При этом радарная или связная установка может быть выполнена в виде двумерной односторонней активной фазированной антенной решетки или в виде двумерной двухсторонней активной фазированной антенной решетки с приемопередающими модулями, описанными в п.1, установленной со смещением относительно приемопередающего устройства в горизонтальной и вертикальной плоскости.

Краткое описание чертежей

Сущность изобретения поясняется чертежами, где:

На фиг. 1 изображена схема ППМ наиболее близкого аналога по патенту US 3,648,284;

на фиг. 2 – общий вид заявленной конструкции ППМ с двумя излучателями с переключателем передающего тракта, с двумя независимыми приемниками и двумя независимыми фазовращателями, где 1 – ППМ, 2 – переключатель, 3 – излучатели, 4 – приемники, 5 – передатчик, 7 – циркулятор, 8 – переключатель приема-передачи, 9 – фазовращатели;

на фиг. 3 – общий вид двух одномерных АФАР, которые обеспечивают сканирование на 360^0 в горизонтальной плоскости, где 1 – ППМ, 3 – излучатели, 6 – полотна АФАР, 11 – корпус;

на фиг. 4 – общий вид двух двумерных АФАР, которые обеспечивают круговое сканирование на 360^0 в горизонтальной плоскости и сканирование на $\pm 45 - 60^0$ в вертикальной плоскости, где 1 – ППМ, 3 – излучатели, 6 – полотна АФАР, 11 – корпус;

на фиг. 5 – общий вид двух двумерных АФАР с установленными полотнами под углом, которые обеспечивают сканирование на 360^0 в горизонтальной плоскости и сканирование до 90^0 от горизонта в вертикальной плоскости, где 1 – ППМ, 3 – излучатели, 6 – полотна АФАР, 11 – корпус;

на фиг. 6 – общий вид устройства с дополнительной двумерной односторонней АФАР с классическими ППМ, установленной с возможностью излучения вверх, где 1 – ППМ, 3 – излучатели, 6 – полотна АФАР, 8 – полотно односторонней АФАР, 9 – ППМ с одним приемником и одним фазовращателем, 11 – корпус;

на фиг. 7 – общий вид устройства с одной дополнительной двумерной двухсторонней АФАР с ППМ с переключателем передающего тракта, с двумя независимыми приемниками и двумя независимыми фазовращателями, установленной со смещением относительно устройства и возможностью излучения вверх и вниз, где 1 – ППМ, 3 – излучатели, 6 – полотна АФАР, 11 – корпус;

на фиг. 8 изображен пример общего вида устройства радарно-связной корабельной мачты.

Осуществление изобретения

В последние десятилетия очень популярным стало использование АФАР в радиолокационных и связных системах. Однако цены на ППМ все еще достаточно высоки. При этом размеры ППМ уменьшаются за счет современных высокочастотных интегральных технологий - Monolithic Microwave Integrated Circuit (MMIC). Уменьшение размеров ППМ позволяют без труда создавать устройства по данной полезной модели.

Традиционное решение радиолокационной или связной системы, когда требуется круговой обзор, заключается в использовании четырех АФАР, каждая из которых сканирует в горизонтальной и вертикальной плоскости $\pm 45 - 60^0$. Следовательно, для обеспечения достаточно узкой диаграммы направленности, например 2^0 , в любом диапазоне каждая АФАР будет состоять из более чем 3000 ППМ. При четырех АФАР требуется более 12000 ППМ, что позволяет формировать четыре совершенно независимых луча. Такой радиолокатор является весьма дорогостоящим. Заявленное устройство при сохранении энергопотенциала и четырех независимых лучей позволяет снизить стоимость такого радиолокатора, поскольку около 80% стоимости составляет стоимость ППМ, а стоимость дополнительного приемника и фазовращателя не высока.

На Фиг.1 изображена конструкция, раскрытая в патенте US 3,648,284, где 10 – передатчик, 12 и 14 – излучатели, 16 – переключатель, 18 – фазовращатель, 20 и 28 смесители, 24 и 26 приемники. Это позволяет в два раза сократить количество ППМ по сравнению с радарными системами, которые используют односторонние фазированные решетки, но энергопотенциал будет ниже, чем у двух независимых односторонних решеток. Из-за использования только одного фазовращателя в разные стороны будет излучение и прием сигнала одинаковой фазы, что не позволяет сформировать полностью независимые лучи.

На Фиг.2 изображена конструкция, где 1 – ППМ, 2 – переключатель, 3 – излучатель, 4 – приемник, 5 – передатчик и 7 – циркулятор, 8 – переключатель приема-передачи, 9 – фазовращатели. Такая конструкция, за счет использования двух независимых фазовращателей позволяет излучать и принимать сигналы одновременно в разные стороны с разными фазами и, следовательно, дает возможность сформировать совершенно независимые лучи на противоположных полотнах АФАР не теряя при этом энергопотенциал.

На Фиг.3 изображена радарная или связная система, состоящая из двух установленных ортогонально одномерных двухсторонних АФАР, состоящих из ППМ, изображенных на Фиг.2, которые работают в противоположных направлениях. Такая конструкция позволяет каждому полотну решетки сканировать независимыми электронными лучами $\pm 45 - 60^0$ в горизонтальной плоскости в противоположных направлениях, обеспечивая при этом круговой обзор. Если установить две двумерных двухсторонних АФАР в ортогональной плоскости друг к другу, то это даст возможность кругового обзора в горизонтальной плоскости и также $\pm 45 - 60^0$ в вертикальной плоскости с помощью независимых лучей от каждого полотна АФАР (Фиг.4). Такая конструкция обеспечивает возможность кругового обзора, сохранение энергопотенциала и формирование независимых лучей при использовании 6000 ППМ вместо 12000. Для исключения теневых секторов одномерные или двумерные двухсторонние АФАР установлены со смещением относительно друг друга в вертикальной и/или горизонтальной плоскости с возможностью учета параллакса математическим путем.

Если радар с традиционной АФАР кругового обзора имеет 12000 ППМ мощностью 1 ватт и скважность 10 (работает 10% времени), то его средняя мощность будет 1200 ватт. При использовании заявленного устройства, для обеспечения кругового

обзора будет нужно только 6000 ППМ по 1 ватту, но они будут работать уже 20% времени, а средняя мощность всей системы будет также 1200 ватт.

В случае использования ППМ заявленной конструкции (Фиг.2), передающий канал работает также через переключатель на два излучателя, а приемные независимые каналы (4) подключены к обоим излучателям постоянно. В этом случае передатчик ППМ (5) будет работать со скважностью 5 – 10 на каждый излучатель, т.е. в сумме работать уже 20 – 40% времени. Во время работы передатчика на излучатель приемник этого излучателя запирается с помощью циркулятора (7), а приемник противоположного излучателя продолжает работать на прием, поскольку ему не мешает излучение в противоположном направлении. Для того, чтобы исключить влияние отраженных сигналов на противоположный открытый приемник, можно излучать в разных направлениях на близких, но разных частотах и/или использовать различную кодировку сигналов, например фазоманипулируемые сигналы.

В прототипе в ППМ имеется только один фазовращатель. При использовании таких ППМ в фазированной решетке при одновременной работе на прием и передачу сформировать два независимых луча, направленных в любую сторону в пределах углов сканирования вообще не возможно, поскольку фаза передаваемого сигнала такая же, как и принимаемого. В этом случае на передачу и на прием в противоположные стороны будут формироваться лучи одинакового направления по отношению к нормали каждого полотна излучателей. При этом регулярный обзор пространства занимает больше времени, чем при использовании ППМ заявляемого устройства с двумя фазовращателями. Если, например, с одного полотна был передан импульс, то ППМ прототипа переключает передатчик на другое полотно, а приемник первого полотна начинает прием отраженных сигналов. В это время передатчик передает импульс со второго полотна и сразу после этого начинается прием отраженных сигналов на второе полотно. Поскольку имеется только один фазовращатель, оба полотна работают на одной фазе. После того как первое полотно полностью примет сигнал, оно начинает простаивать, поскольку второе полотно еще полностью не приняло сигнал, т.к. импульс был послан позже и фазу менять нельзя. Только после полного приема сигнала на втором полотне можно изменить фазу и передавать следующий импульс в другом направлении. Учитывая, что современные радары используют достаточно длительные импульсы, потери времени при регулярном обзоре будет существенными. Кроме того, современные радарные системы с электронным сканированием луча используются не только для

регулярного обзора пространства. При обнаружении целей луч время от времени прерывает регулярный обзор и дополнительно обрабатывает эти цели. При наличии опасных целей время работы по ним увеличивается за счет времени регулярного обзора. На время работы по целям фазированная решетка с ППМ с одним фазовращателем, как в прототипе, при одновременной работе в противоположную сторону полностью теряет эффективность, поскольку в том же направлении с другой стороны решетки, вероятнее всего, цели нет. При этом, в случае использования ППМ заявляемого устройства противоположное полотно может продолжать регулярный обзор или работать по целям независимо от первого полотна. Таким образом, использование ППМ с одним фазовращателем приводит к потерям времени и энергопотенциала при регулярном обзоре и дополнительным потерям при работе по целям, что существенно снижает эффективность радарной системы, особенно когда целей много, хотя именно в такой ситуации и нужна эффективность радара.

Фазированная решетка с ППМ с одним фазовращателем, как в прототипе, малоэффективна или вообще не применима для систем связи. Системы связи, основанные на фазированных решетках, применяются для приема и передачи данных на конкретные объекты, которые располагаются на известных направлениях. При работе с одним объектом с одной стороны, очень маловероятно, что с другой стороны на том же направлении находится другой объект. В этом случае эффективность системы связи будет крайне мала, поскольку при работе по объектам с одной стороны, другая сторона практически не будет работать вообще. А в случае, если такая система связи используется в качестве ретранслятора, то она вообще работать не будет, поскольку надо непрерывно принимать информацию от одного объекта с одной стороны и тут же передавать эту информацию на другой объект с другой стороны. Крайне маловероятно, что направления на эти объекты будет одинаковым.

При использовании четырех АФАР в классических радарх с круговым обзором отдельные полотна АФАР, как правило, устанавливаются не вертикально, а под углом к горизонту. Это делается для того, чтобы увеличить обзор радара в вертикальной плоскости. При установке отдельных полотен АФАР под углом 30° к горизонту и при сканировании в вертикальной плоскости $\pm 45 - 60^{\circ}$ радар имеет обзор $75 - 90^{\circ}$ по вертикали от горизонта, т.е. перекрывает всю полусферу. Прототип имеет только параллельное расположение полотен в вертикальной плоскости, что является явным недостатком устройства, поскольку появляется большая слепая зона обзора $60 - 90^{\circ}$ в

верхнем и/или нижней полусфере обзора. Для компенсации этого недостатка в верхней полусфере заявляемое устройство можно также сделать с отдельными полотнами АФАР, например, под углом 30^0 к горизонту и, следовательно, общий обзор по вертикали будет перекрывать всю верхнюю полусферу (см фиг. 5). Однако при этом могут возникнуть некоторые проблемы с потерями в нижних ППМ из-за достаточно большого расстояния от ППМ до излучателей. Другим способом увеличения зоны обзора, при котором отсутствует этот недостаток является использование дополнительных АФАР.

При угле места цели 45^0 дистанция до нее, даже при высоте полета 20 км, будет около 28 км, что не много. Обнаружение целей на таких и меньших дистанциях может быть обеспечено одной односторонней двумерной АФАР (8), состоящей из классических ППМ с небольшим общим энергопотенциалом, установленной сверху таким образом, чтобы она излучала в верхнем секторе обзора (см. Фиг.6). Такая АФАР должна сканировать в двух плоскостях в пределах $\pm 45 - 60^0$. В этом случае общая ДН такой АФАР будет в виде части сферы с углом раскрытия $90 - 120^0 (\pm 45 - 60^0)$, что даст возможность полностью контролировать радарной системой всю верхнюю полусферу. При необходимости осветить всю сферу, такие АФАР устанавливаются и сверху и снизу.

Учитывая, что дистанции до целей в верхнем и/или нижнем секторе обзора на порядок меньше, чем в горизонтальном направлении, такая двумерная АФАР может состоять из существенно меньшего количества ППМ, например 16 на 16 ППМ, что в сумме дает всего 256 элементов, однако при этом ДН такой АФАР будет 8^0 на 8^0 , что скажется на разрешении радарной системы в верхних и/или нижних секторах, хотя энергопотенциала такой радарной системы в этих секторах обзора будет вполне достаточно. Всего в заявляемой радарной системе при использовании одной дополнительной верхней односторонней АФАР будет 6256 ППМ, а в радарной системе с четырьмя классическими АФАР 12000 ППМ.

Также для получения сферической зоны обзора может быть использована только одна двумерная двухсторонняя АФАР с ППМ с переключателем передатчика, двумя приемниками и двумя фазовращателями, установленная таким образом, чтобы излучать в верхнем и нижнем секторе обзора и со смещением от двух установленных ортогонально АФАР в горизонтальной и вертикальной плоскости с возможностью учета параллакса математическим путем (см. Фиг.7). Тогда, радарная система со сферической зоной обзора и с двухсторонней двумерной дополнительной АФАР размером 16 на 16 ППМ будет включать в себя 6256 ППМ. Классическая схема с радарной системой, состоящей из

четырёх АФАР, установленных под углом к горизонту и 12000 ППМ закрывает полусферу и вообще не может обеспечить сферическую зону обзора.

Для закрытия большой слепой зоны в верхнем и/или нижнем секторе обзора заявляемого устройства с двумерными двухсторонними АФАР может быть использована не только двумерная односторонняя АФАР, установленная сверху и/или снизу, или одна двумерная двухсторонняя АФАР с верхним и нижним сектором обзора, но и другие радарные конструкции, выполняющие те же функции, например пассивная ФАР, конструкции с механическим сканированием и др.

На фиг. 8 изображен пример реализации корабельной радарно-связной мачты с использованием двухсторонних одномерных и двумерных АФАР и односторонних АФАР для контроля верхних секторов обзора. Корабельная радарно-связная мачта включает радиопрозрачный колпак (30), мачту (31), двухсторонние двумерные АФАР радиолокатора S-диапазона (32), двухсторонние одномерные АФАР системы связи в S диапазоне (33), двухсторонние двумерные АФАР радиолокатора X диапазона (34), двухсторонние одномерные АФАР системы связи X диапазона (35), одностороннюю двумерную АФАР радиолокатора X диапазона для контроля верхнего сектора обзора (36) и одностороннюю двумерную АФАР радиолокатора S диапазона для контроля верхнего сектора обзора (37).

На примере корабельной радарно-связной мачты хорошо видно, что установка двух независимых радарных систем и двух независимых связных систем в разных диапазонах обеспечивает полноценный круговой обзор каждой системы без каких-либо теневых секторов от друг друга и мачты за счет смещения двухсторонних решеток в вертикальной и горизонтальной плоскости. При использовании для таких четырех систем конструкций в виде вращающейся АФАР или в виде «Y» описанных в прототипе не будет теневых секторов только у той системы, которая будет установлена на верхушку мачты. Остальные три системы будут иметь теневые сектора от мачты и/или друг друга, что существенно влияет на эффективность радарной или связной системы. Кроме того, максимальный угол сканирования в конструкции в виде «Y» как в прототипе будет $\pm 30^\circ$. При больших углах сканирования будет происходить затенение соседней решеткой.

Описанные в заявляемом устройстве конструкции могут быть эффективно использованы в гидроакустике, где также применяются активные физированные антенные решетки и где уменьшение в 2 раза количества ППМ также весьма актуально.

Промышленная применимость.

Заявленное устройство может применяться для радиолокационных, связных и гидроакустических систем, где используются АФАР.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Приемопередающее устройство, содержащее активные двухсторонние фазированные антенные решетки, включающие приемопередающие модули, в каждый из которых входит два излучателя, передатчик, два приемника, два изолирующих переключателя, смесители, один фазовращатель, отличающееся тем, что двухсторонние фазированные решетки выполнены одномерными или двумерными, установлены в горизонтальной плоскости относительно друг друга под углом $75 - 105^0$ с сохранением возможности кругового обзора, приемопередающий модуль снабжен дополнительными фазовращателем, при этом каждый из двух фазовращателей через переключатель постоянно подсоединен к одному из приемников или передатчику, а передатчик через переключатель и циркуляторы соединен с излучателями с возможностью попеременного соединения с излучателями с использованием разных частот и/или с применением различной кодировки сигнала, соответствующими разным частотам и кодировкам режима приема приемников с возможностью формирования, по крайней мере, двух независимых лучей в противоположном направлении, при этом активные двухсторонние фазированные антенные решетки смещены относительно друг друга в горизонтальной и/или вертикальной плоскости.

2. Приемопередающее устройство с двумерными АФАР по п.1, отличающееся тем, что полотна каждой стороны двухсторонней активной фазированной решетки установлены под углом друг к другу в вертикальной плоскости.

3. Приемопередающее устройство с двумерными АФАР по п.1, отличающееся тем, что оно дополнительно снабжено, по крайней мере, одной радарной или связной установкой, расположенной сверху и/или снизу от приемопередающего устройства, выполненной с возможностью сканирования в двух плоскостях таким образом, чтобы излучать вверх и/или вниз.

4. Устройство по п.3, отличающееся тем, что радарная или связная установка выполнена в виде двумерной односторонней активной фазированной антенной решетки.

5. Устройство по п.3, отличающееся тем, что радарная или связная установка выполнена в виде двумерной двухсторонней активной фазированной антенной решетки с приемопередающими модулями, описанными в п.1, установленной со смещением относительно приемопередающего устройства в горизонтальной и вертикальной плоскости.