

Изобретение относится к области антенн СВЧ-диапазона и может быть использовано при проектировании антенн для малогабаритных подвижных радиолокационных зенитно-ракетных комплексов обнаружения и сопровождения целей и ракет, а также в антенной технике СВЧ иного назначения.

Известно, что такой комплекс, располагаемый в большинстве случаев на одной транспортной единице (самоходном шасси), должен обеспечить возможность обзора пространства для поиска целей с последующим сопровождением обнаруженных целей, то есть периодическим определением трех координат целей в пространстве и завязке трасс движения целей для принятия решения о ее поражении. После пуска ракет для поражения целей комплекс должен обеспечить их захват и наведение на сопровождаемые цели вплоть до момента поражения. Необходимость решения этих задач при размещении аппаратуры на одном самоходном шасси приводит к значительному повышению требований к антенно-фидерной системе РЛС такого комплекса, при этом многие требования оказываются противоречивыми. Так например, для повышения разрешающей способности РЛС и повышения точности определения угловых координат цели необходимо сформировать достаточно узкую диаграмму направленности антенны, при обзоре пространства или при захвате ракеты диаграмма направленности антенны должна быть достаточно широкой. Антенна должна обеспечить высокую пропускную способность РЛС для одновременной работы с несколькими целями и ракетами, возможность адаптации по ширинам диаграмм направленности - для этого антенна должна иметь высокое быстродействие при перемещении диаграммы направленности в пространстве и при изменении ее ширины. В то же время антенна РЛС малогабаритного подвижного зенитно-ракетного комплекса должна иметь малые габариты и массу и низкую стоимость, что часто является определяющим при выборе типа антенн.

Перечисленным выше требованиям к антенне для РЛС малогабаритного зенитно-ракетного комплекса в наибольшей степени удовлетворяли бы антенны типа фазированной антенной решетки с электронным сканированием диаграммы направленности. Известны зенитно-ракетные комплексы, в которых применены антенны типа фазированной антенной решетки, например, многофункциональная РЛС ЗПК "PATRIOT", РЛС корабельного ЗПК "АЕ-GIS". Однако особенности построения ФАР, реализованные при создании антенн для вышеперечисленных РЛС, оказываются неприемлемыми при разработке антенн для малогабаритных радиолокационных станций обнаружения и сопровождения целей и ракет, размещаемых на одном самоходном шасси, в связи с их повышенной сложностью, большими габаритами и

массой и высокой стоимостью. Этим объясняется тот факт, что в известных радиолокационных станциях малогабаритных комплексов обнаружения и сопровождения целей и ракет до последнего времени используются зеркальные антенны с электромеханическим сканированием луча. Такие антенны использованы в комплексах "Кроталь" (Франция), "Роланд" (Франция, ФРГ) и "Оса" (Россия).

За прототип антенны принята зеркальная система радиолокатора сопровождения целей зенитно-ракетного комплекса "Оса" (см. Техническое описание боевой машины зенитного ракетного комплекса "Оса-АКМ", ГП ИЭМЗ, Ижевск, 1980 г.).

Антенна комплекса содержит излучающую апертуру (поверхность) и тракт СВЧ сигнала. Излучающая апертура образована параболическим зеркалом с поворотом плоскости поляризации и зеркалом-фильтром. Возбуждение поверхности антенны производится с помощью облучателя. Тракт СВЧ сигнала, содержащий систему двойных тройников, модулятор, шелевой мост, циркулятор, соединяет излучатель с передатчиком и приемником РЛС. Сканирование диаграмм направленности в заданном угловом секторе осуществляется в азимутальной и угломестной плоскостях с помощью электромеханического поворотного устройства, содержащего азимутальный и угломестный приводы.

Удовлетворяя предъявляемым к антенне РЛС подвижного комплекса требованиям по простоте, малым габаритам и массе и низкой стоимости, антенны прототипа и аналогов обладают при работе по современным средствам нападения существенными недостатками, к которым относятся:

большое время обнаружения и захвата целей при механическом перемещении диаграммы направленности антенны в пространстве,

невозможность одновременного сопровождения нескольких целей и ракет из-за их больших скоростей,

отсутствие быстрой адаптации по ширинам диаграмм направленности антенны,

высокий уровень боковых лепестков антенны из-за затенения рабочей поверхности зеркала облучателем и конструктивными элементами облучателя и зеркала-фильтра, что ухудшает помехозащищенность РЛС.

Задача изобретения - создание сравнительно дешевой антенны с электронным сканированием диаграмм направленности в секторе углов, необходимом для РЛС малогабаритных зенитно-ракетных комплексов, свободной от перечисленных выше недостатков антенны прототипа. При этом должны быть улучшены антенные характеристики прототипа при выполнении требований к стоимости, массе, габаритам и допустимой потребляемой мощности, которые диктуются требованиями к малогабаритной подвижной РЛС.

Целью изобретения является создание антенны с малым числом управляемых элементов, которая обеспечивает электронное сканирование диаграмм направленности в ограниченном секторе углов, определяемых требованиями к РЛС указанных выше комплексов со временем перемещения диаграммы в любую точку сектора сканирования за время не более долей миллисекунды.

Антенна должна формировать суммарно-разностные диаграммы направленности для моноимпульсного метода пеленгации целей, должна быть адаптирующейся по ширинам диаграмм направленности, иметь коэффициент усиления не меньше, чем прототип и более низкий уровень бокового излучения в суммарной диаграмме направленности. Антенна должна иметь габариты и массу, удовлетворяющие требованиям размещения в малогабаритных РЛС. Так как для войсковых РЛС важна стоимость, указанные качества антенны должны быть получены при ее минимальной стоимости.

Цель изобретения достигается тем, что излучающая апертура антенны выполнена в виде четырех однотипных подрешеток, каждая из которых снабжена системой возбуждения, системой фазирования с малым числом управляемых фазовращателей и системой излучения, содержащей излучатели со специальной (столообразной) формой диаграммы направленности, а все подрешетки снабжены общей системой управления лучом. При этом каждый излучатель системы излучения соединён с соответствующим электрически управляемым фазовращателем системы фазирования, который соединён с одним из выходов системы возбуждения. Системы возбуждения выполнены в виде последовательных или параллельных СВЧ линий передачи и имеют один вход для каждой подрешетки и выходы по числу управляемых фазовращателей. Входы системы возбуждения через систему из четырёх двойных тройников, три из которых свёрнуты в Е- и Н- плоскостях, и циркулятор, используемый по каналам передачи и суммы, соединены линиями СВЧ связей с приёмниками и передатчиком РЛС. Управляющие входы электрически управляемых фазовращателей соединены с выходами системы управления лучом. Излучающая апертура антенны со всеми её составными частями устанавливается на платформе шасси комплекса, имеющей азимутальный и угломестный электромеханические приводы.

Для обеспечения адаптации по ширинам диаграмм направленности антенна снабжена блоком выработки поправок к фазовому распределению. Для взаимного фазирования суммарного и разностных каналов антенна снабжена источником контрольного сигнала.

Сущность изобретения состоит в построении фазированной антенной решетки, удовлетворяющей всем приведённым выше требовани-

ям при малом числе управляемых элементов (фазовращателей) за счёт создания излучающих элементов со специальными диаграммами направленности. Предлагаемое изобретение позволяет создать фазированную антенную решётку с числом управляемых элементов в несколько раз меньшим, чем имеют известные эквидистантные ФАР с той же шириной диаграммы направленности, в которых используются излучатели, аналогичные применяемым в упоминавшихся выше ЗРК "PATRIOT" и "АЕ-GIS" и в большинстве других РЛС с ФАР.

Предлагаемая эквидистантная ФАР имеет расстояние между управляемыми элементами в несколько длин волн, тогда как аналогичные ФАР имеют расстояние между элементами менее одной длины волны.

Конструкция предлагаемой антенны изображена на фиг. 1, 2 и 3. На фиг. 1 показана излучающая апертура антенны 1 и тракт СВЧ сигнала, включающий в себя систему из четырех двойных тройников 2, три из которых свёрнуты в Е- и Н-плоскостях, циркулятор 3 и линии 4,5,6,7 СВЧ связи антенны с передатчиком и приёмниками (на фиг. 1 приёмники и передатчик РЛС не показаны). Каждый из двойных тройников имеет два входа (боковых плеча) и два выхода (суммарный, в котором входные сигналы складываются синфазно и разностный, в котором сигналы складываются противофазно т.е. вычитаются). Несвёрнутый двойной тройник показан на фиг. 4. С целью уменьшения фазовых ошибок в системе двойных тройников, приводящих к ошибкам пеленга РЛС, и уменьшения габаритов в антенне используются свёрнутые двойные тройники. См. фиг. 5 и 6. Схема системы четырех двойных тройников 2, формирующих суммарно - разностные каналы антенны, показана на фиг. 7. Эти составные части образуют конструктивно законченный узел с двумя осями вращения по углу места и азимуту, связанный с соответствующими приводами 8 и 9 по углу места и азимуту. Излучающая апертура антенны 1 образована несколькими (четырьмя) подрешетками 10, каждая из которых содержит систему излучения 11, систему фазирования 12 и систему возбуждения 13. Каждая из систем излучения 11 содержит излучатели 14, имеющие столообразную форму диаграммы направленности излучения, установленные с расстоянием между соседними излучателями в несколько длин волн. Каждый излучатель 14 соединен с соответствующим ему электрически управляемым фазовращателем 15, входящим в систему фазирования 12, который своим входом соединен с соответствующим выходом системы возбуждения 13. Каждая из систем возбуждения 13 представляет собой совокупность последовательных или параллельных СВЧ линий передачи, имеющих одни вход 16 и выходы, общее число которых в антенне должно быть равно числу электрически управляемых фазовращате-

лей. Управляющие входы фазовращателей 15 соединены с выходами системы управления лучом 17, которая является общей для всех подрешеток антенны.

Входы 16 системы возбуждения (входы апертуры антенны) 13 с помощью СВЧ тракта, содержащего систему из четырех двойных тройников 2, включающую три свернутых в Е- и Н-плоскостях двойных тройника, циркулятор 3 и линии 4, 5, 6 и 7 СВЧ связей соединяют антенну с передатчиком РЛС (линия 4) и моноимпульсными приемниками. Линия 5 соединена со входом приемника суммарного канала, а линии 6 и 7 - со входами приемников разностных каналов азимута и угла места.

На фиг. 2 показан вариант антенны, в которую введен источник контрольного сигнала 18, соединенный с боковым входом системы 2 из четырех двойных тройников.

На фиг. 3 показан вариант выполнения антенны, при котором антенна снабжена блоком выработки строчных и столбцевых поправок к фазовому распределению 19, изменяющих ширину диаграммы направленности антенны, который соединен с системой управления лучом 17. Система управления лучом 17 имеет отдельные выходы для сигналов управления фазовращателями по строкам и столбцам. Управляющие входы каждого фазовращателя 15 подрешеток 10 соединены с соответствующим строчным и столбцевым выходом системы управления лучом 17.

Антенна работает следующим образом.

Излучающая апертура антенны 1 с помощью приводов 8 и 9 ориентируется относительно шасси РЛС в направлении сектора сканирования.

В режиме передачи СВЧ мощность от передатчика через линию СВЧ связи 4, развязывающий циркулятор 3 и суммарное плечо системы двойных тройников 2 синфазно подается на входы 16 четырех систем возбуждения 13 подрешеток ФАР 10. Системы возбуждения 13 обеспечивают необходимое амплитудное распределение на входах всех управляемых фазовращателей 15 систем фазирования 12. Управляемые фазовращатели 15 устанавливают на входах излучателей 14 систем излучения 11 необходимое фазовое распределение в соответствии с управляющими сигналами, выработанными системой управления лучом 17 для ориентации диаграммы направленности антенны в любую точку выбранного сектора сканирования.

В режиме приема антенна работает следующим образом.

Сигнал, отраженный от цели, принимается излучателями 14 систем излучения 11 подрешеток 10, передается на фазовращатели 15 систем фазирования 12. Фазовращатели 15 с помощью системы управления лучом 17 создают в принимаемом сигнале фазовый сдвиг в зависимости от требуемой ширины диаграммы направленно-

сти и ее углового положения в пределах выбранного сектора сканирования. Системы фазирования 12 также компенсируют фазовые сдвиги, вносимые системами возбуждения 13 подрешеток 10 для различных фазовращателей. В системе двойных тройников 2 сигналы от всех четырех подрешеток 10 антенны складываются синфазно при формировании диаграммы направленности по суммарному каналу или противофазно при формировании диаграмм направленности по разностным каналам азимута или угла места. При противофазном сложении сигналов от правой и левой частей апертуры 1 антенны формируются разностные диаграммы направленности в азимутальной плоскости. При противофазном сложении сигналов от верхней и нижней частей апертуры 1 антенны формируются разностные диаграммы направленности в угломестной плоскости.

Излучатели 14 формируют диаграммы направленности нужной ширины для заданного сектора сканирования антенны. Диаграммы направленности излучателей по их переднему и заднему фронтам приближаются к столообразным, обеспечивая подавление дифракционных лепестков (лепестков решетки). Это позволяет значительно увеличить расстояние между излучателями ФАР, сократив число управляемых элементов в несколько раз.

Адаптация по ширинам диаграмм направленности осуществляется за счет изменения фазового распределения на раскрыве антенны, осуществляемого системой управления лучом 17 по сигналам, вырабатываемым блоком поправок 19. В блоке поправок 19 хранятся поправки к фазовому распределению по строкам и столбцам, которые вызываются и учитываются системой управления лучом 17 при выработке сигналов управления фазовращателями 15 для изменения ширины диаграммы направленности.

Система управления лучом 17 вырабатывает отдельные сигналы управления фазовращателями 15 по строкам и столбцам. Фазовращатели 15 подрешеток 10, управляющие цепи которых соединены с соответствующими строчными и столбцевыми выходами системы управления лучом 17, обрабатывают соответствующий этим сигналам суммарный фазовый сдвиг, изменяя фазовое распределение в апертуре 1 антенны для изменения ширины диаграммы направленности при ее отклонении в заданном направлении. Взаимная фазировка суммарно-разностных каналов производится по контрольному сигналу от источника контрольного сигнала 18, вводимому через боковое плечо системы свернутых в Е- и Н-плоскостях двойных тройников 2, что обеспечивает синфазное и равноамплитудное введение контрольного сигнала в тракт формирования суммарно-разностных диаграмм направленности и в результате приводит к повышению точности пеленгации целей.

Экспериментальные проверки большого числа антенн, построенных в соответствии с настоящим изобретением, показали, что антенны полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к антеннам РЛС сопровождения целей и ракет малогабаритных зенитно-ракетных комплексов. Сочетание возможности электромеханического перемещения антенны и электронного сканирования в рабочем секторе углов РЛС позволяет реализовать различные режимы работы РЛС при поиске и сопровождении целей и захвате и наведении ракет. Антенна формирует суммарные и разностные диаграммы направленности различной ширины для моноимпульсного метода пеленгации. В рабочем секторе углов благодаря электронному сканированию и адаптации по ширинам диаграммы направленности может быть осуществлен любой алгоритм работы по нескольким целям на различных частотах излучения РЛС и различной ширине диаграммы направленности. По сравнению с прототипом предложенная антенна имеет более высокий коэффициент усиления и меньший уровень боковых лепестков. Это объясняется тем, что в предложенной антенне отсутствует затенение излучающей апертуры зеркалом-фильтром, облучателем и элементами их крепления, отсутствуют потери в диэлектрике, используемом для создания системы с поворотом плоскости поляризации, отсутствует излучение мощности за пределы апертуры.

Использование специально разработанных излучателей со столообразными характеристиками излучения, подавляющих дифракционные лепестки антенны (лепестки решетки) в рабочем секторе углов, позволило устанавливать их в апертуре антенны с интервалом в несколько длин волн и вследствие этого существенно уменьшить число управляемых элементов. В предложенной антенне управляемые элементы расположены с интервалом в три длины волны, в то время как в большинстве известных ФАР управляемые элементы устанавливаются с интервалом меньше длины волны. В этом случае число управляемых элементов в предлагаемой антенне уменьшается примерно на порядок, что обеспечивает уменьшение массы и габаритов антенны и снижение ее стоимости до значений, при которых становится возможным применение антенны с электронным сканированием в РЛС обнаружения и сопровождения целей и ракет малогабаритных зенитно-ракетных комплексов. Кроме того, эквидистантное расположение излучателей в антенне позволяет применить систему управления лучом со строчно-столбцовым управлением фазовращателями. Такая система оказывается существенно проще и дешевле систем с поэлементным управлением

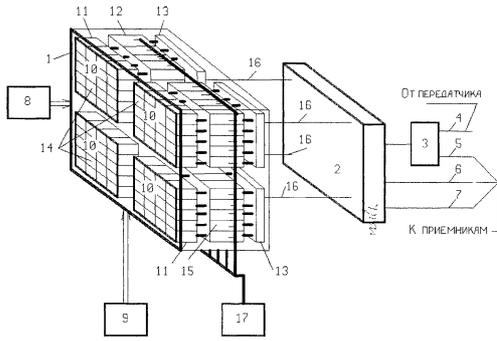
фазовращателями, вырабатывающих сигналы управления для каждого фазовращателя, так как число каналов управления в ней уменьшается в число раз, равное половине квадратного корня из числа элементов антенны.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

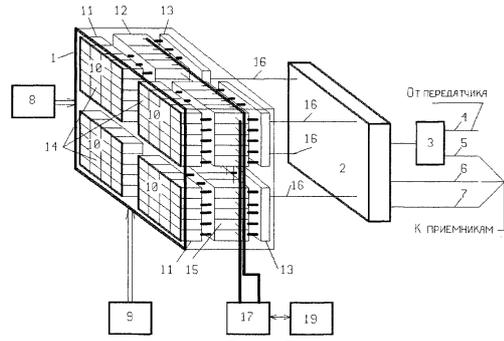
1. Антенна для малогабаритных радиолокационных станций обнаружения и сопровождения целей и ракет, содержащая излучающую апертуру и тракт СВЧ сигнала, включающий систему из четырех двойных тройников, три из которых свернуты в Е- и Н-плоскостях, циркулятор, линии СВЧ связей с моноимпульсными приемниками и передатчиком РЛС, азимутальный и угломестный приводы, отличающаяся тем, что в ней излучающая апертура выполнена в виде односторонних подрешеток, снабженных каждой системой возбуждения в виде последовательных или параллельных СВЧ линий передачи, системой фазирования с электрически управляемыми фазовращателями, системой излучения, выполненной в виде дискретных излучателей со столообразными характеристиками излучения, расположенных в апертуре антенны эквидистантно на расстоянии нескольких длин волн и общей для всех подрешеток системой управления лучом, причем совокупно число выходов систем возбуждения равно числу управляемых фазовращателей, а число входов равно четырем, при этом каждый излучатель соединен с соответствующим электрически управляемым фазовращателем системы фазирования, соединенным с выходом одной из систем возбуждения, управляющие входы фазовращателей соединены с выходами системы управления лучом, а четыре входа систем возбуждения через систему двойных тройников и циркулятор, используемый для каналов передачи и суммы, соединены с приемниками и передатчиком РЛС.

2. Антенна по п.1, отличающаяся тем, что она снабжена блоком выработки строчных и столбцовых поправок к фазовому распределению, изменяющих ширину диаграммы направленности антенны, соединенным с системой управления лучом, вырабатывающей на выходах сигналы управления фазовращателями по строкам и столбцам, при этом управляющие входы каждого фазовращателя подрешеток соединены с соответствующими строчными и столбцовыми выходами системы управления лучом.

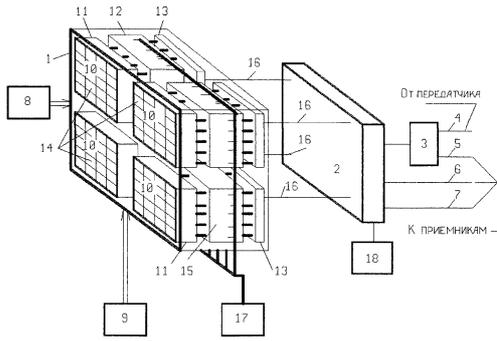
3. Антенна по п.1, отличающаяся тем, что она снабжена источником контрольного сигнала, выход которого соединен с боковым плечом системы свернутых двойных тройников.



Фиг. 1



Фиг. 3



Фиг. 2

