

Принципы функционирования, классификация, тенденции развития и отличительные особенности антенных решеток Дробышев С. В.

Дробышев Сергей Викторович / Drobyshev Sergey Viktorovich – инженер,
Открытое акционерное общество корпорация «Комета», г. Москва

Аннотация: антенные решетки являются самым распространенным классом современных антенн. В статье приведены их особенности, классификация, а также достоинства и недостатки.

Ключевые слова: антенная решетка, фазированная антенная решетка, активная фазированная антенная решетка, приемопередающий модуль.

УДК 621.396

Антенна – устройство, предназначенное для изучения или приема радиоволн.

Простейшая направленная антенна (симметричный вибратор) имеет невысокую направленность. Для увеличения направленности действия на первых этапах развития антенной техники стали применять систему вибраторов [1].

Антенные решетки (АР) – сложные антенны, состоящие из совокупности отдельных излучающих элементов, расположенных в пространстве особым образом. Излучающими элементами АР могут использоваться различные антенны, как малой, так и большой направленности являются симметричные и несимметричные вибраторы, щелевые вибраторы и др.

АР является самым распространенным классом современных антенн. Это обусловлено несколькими причинами:

- решетка из N элементов позволяет увеличить приблизительно в N раз коэффициент направленного действия и соответственно усиление антенны по сравнению с одиночным излучателем;
- возможность поднятия электрической прочности антенны и увеличение уровня излучаемой или принимаемой мощности путем размещения в каналах решетки независимых усилителей высокочастотной энергии;
- возможность сузить луч для повышения точности определения угловых координат источника излучения;
- быстрый обзор (сканирование) пространства за счет качания луча антенны электрическими методами (электрическое сканирование).

Остановимся немного на классификации решеток.

В зависимости от геометрии расположения излучателей в пространстве АР подразделяются: одномерные, двумерные и трехмерные. К одномерным относятся линейные, кольцевые, дуговые решетки. К двумерным – плоские и выпуклые решетки (цилиндрические, конические, сферические), также можно отнести и многогранные, представляющие пространственную систему плоских решеток, располагаемых на гранях выпуклых многогранников. Пространственная структура решетки в простейшем случае представляет собой систему из двух плоских решеток, параллельно расположенных в пространстве.

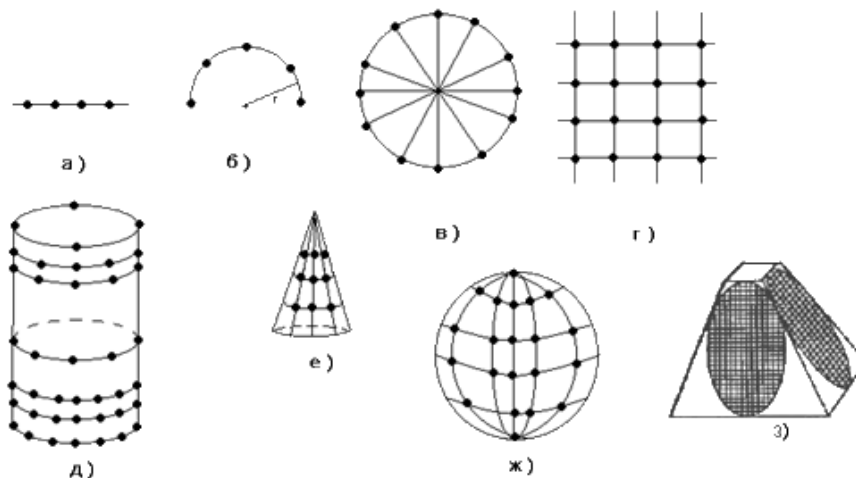


Рис. 1. Типы антенных решеток: а - линейная; б - дуговая; в - кольцевая; г - плоская; д - цилиндрическая; е - коническая; ж - сферическая; з - многогранная

Размещение излучателей в самой решетки может быть эквидистантное, т. е. расстояние между излучателями величина постоянная, и неэквидистантное - расстояние меняется по определенному закону или случайным образом.

По способу возбуждения излучателей различают так называемый пространственный способ возбуждения, при котором антенная решетка возбуждается облучателем. В этом случае возможны два варианта АР (рис. 2): проходной (а) и отражательный (б). Второй способ возбуждения фидерный, при котором решетку возбуждают системой линии передач СВЧ. При этом возможны следующие схемы питания излучателей: последовательная (в), параллельная (г) и двоично-этажная (елочка). При последовательном питании элементы решетки возбуждаются падающей волной последовательно друг за другом, а при параллельном – независимо, елочка же образуется за счет каскадного деления подводимой мощности на две части. Так же применяют различные комбинации совместного параллельно-последовательного, пространственного и фидерного способов возбуждения элементов АР.

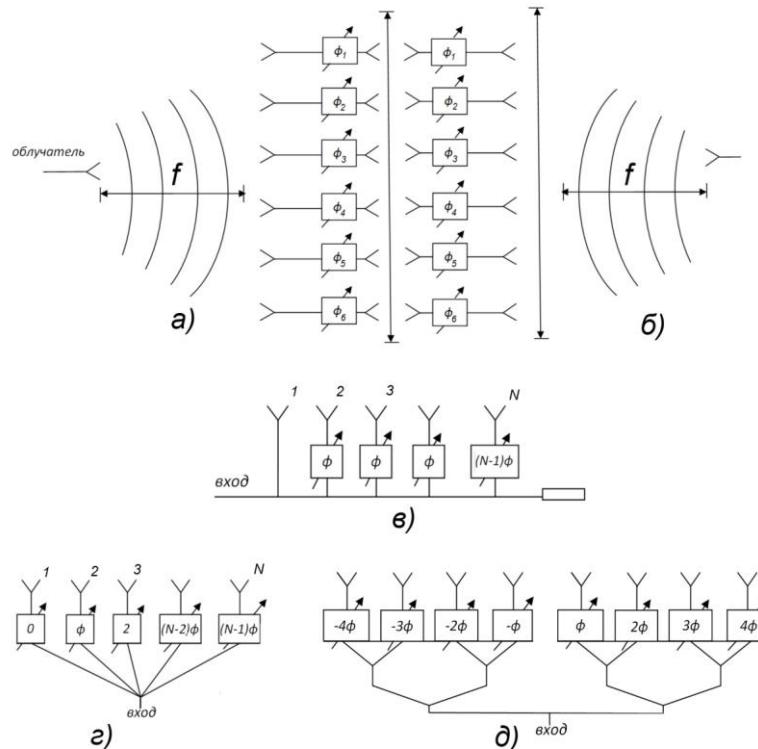


Рис. 2. Схемы АР при пространственном (а, б) и фидерном (в, г, д) возбуждении

При механическом сканировании, выполняемом поворотом все антенны, максимальная скорость движения луча в пространстве ограничена и при современных скоростях летательных аппаратов оказывается недостаточной. Поэтому возникла необходимость в разработке новых типов антенн - фазированных антенных решеток (ФАР) [2]. Это такие решетки, направление излучения и форма соответствующей диаграммы, направленности которых регулируется изменением амплитудно-фазового распределения токов или полей возбуждения на излучающих элементах. Данные системы позволяют осуществлять быстрый обзор пространства, многофункциональный режим работы, комплексирование радиосредств, адаптацию к конкретной обстановке, предварительную обработку сверхвысокочастотных сигналов, обеспечение электромагнитной совместимости и т. д. Они позволяют суммировать в пространстве мощности большого числа передающих модулей, управлять диаграммой направленности и производить электронное сканирование пространства.

Применение ФАР в радиолокационных специальных системах имеет многолетнюю историю. Прогресс в создании новых типов самолетов и ракет, который стал особенно интенсивен к середине XX века, привел к значительному росту скоростей целей и уменьшению их эффективной поверхности рассеяния [2]. Это потребовало существенного усовершенствования радиолокационных станций (РЛС), как одного из наиболее эффективных средств обнаружения воздушных целей и наблюдения за ними. Именно в этот период ФАР начали широко внедряться в РЛС различного назначения. Современные сверхвысокочастотные и высокочастотные фазоуправляемые решетчатые антенны пользуются широким спросом из-за их способности управлять волновым сигналом в пространстве без физического перемещения элементов антенны, что необходимо для быстрого перенаправления сигнала или его формирования. Это достигается при помощи электронного управления фазой сигнала в системе антенны.

Таким образом, можно сформировать любую форму сигнала антенны и направить его в нужную сторону, не приводя в движение ни один элемент антенны.

Дальнейшим развитием современных антенных систем является построение активных фазированных антенных решеток (АФАР). Эти решетки состоят из модулей, в которые входят кроме фазовращателей и излучателей, активные элементы для усиления, аналого-цифровые преобразователи, преобразователи частот, а так же другие устройства предварительной пространственно-временной обработки сигнала [3].

Отличительной чертой АФАР является перераспределение усиления из группового тракта приема и передачи в апертуру антенны за счет добавления нового элемента - приемопередающего модуля (ППМ). Этот модуль является основой пространственного канала обработки сигнала в АФАР. В его состав входит активный элемент - усилитель, который делает это устройство электродинамически невзаимным. Поэтому для обеспечения возможности работы устройства, как на приём, так и на передачу в нём разделяют передающий и приёмный каналы [4]. Современные ППМ выполняет следующие функции:

- формирует заданный уровень СВЧ-мощности в излучателе АФАР; принимает СВЧ-сигналы с требуемой чувствительностью и защитой малошумящего усилителя (МШУ) приемного канала;
- управляет отдельно амплитудой и фазой, излучаемых и принимаемых СВЧ-сигналов с обеспечением требуемой глубины регулировки, точности установки и стабильности во времени, в заданном частотном и динамическом диапазонах;
- переключает поляризации, излучаемых и принимаемых СВЧ-сигналов;
- управляет переключателями прием-передача;
- компенсирует температурную зависимость коэффициентов передачи ППМ в режимах передачи и приема;
- принимает и хранит кодовые команды цифрового вычислителя; выдает коды состояния основных параметров и общего сигнала исправности для контроля.

В результате применения ППМ появляются новые возможности системы в сравнении с ФАР, такие, как амплитудно-фазовое формирование лучей, улучшение технических характеристик и как результат повышенный ресурс и надежность РЛС. Сформулируем достоинства и недостатки АФАР.

Достоинства АФАР:

- Высокая надежность, поскольку отказ любого элемента решетки ухудшает работу антенны на долю процента.
- Способность управлять усилением индивидуальных ППМ. Простота эксплуатации из-за невысокого напряжения (питающее напряжение активных модулей от 24 до 30 В) и высокой фазовой стабильности.
- Малые массогабаритные характеристики ППМ дают выигрыш в массе и габаритных размерах по сравнению с антенными системами, где используются передатчики на электронно-вакуумных приборах, а так же позволяют проектировать многоэлементные решетки с высоким энергетическим потенциалом.
- Меньшие потери в распределительных трактах.
- Работа в более широкой полосе частот и секторе сканирования.

Естественно, что у АФАР есть и свои недостатки. Основными ключевыми особенностями для этой технологии являются:

- Высокая стоимость, как при проектировании, так и при изготовлении.
- Выделение большого количества теплоты и, соответственно, ее рассеивание.

Но в целом, можно сказать, что АФАР превосходят обычные радарные антенны по многим пунктам, обеспечивая надежность и высокую следящую способность. С постоянным развитием технологий постепенно снижается стоимость производства активных решеток, что впоследствии приведет их к более массовому использованию.

Литература

1. Лекции - Антенно-фидерные устройства – Лекция 7. [<http://www.studmed.ru>]. Учебно-методическая литература для учащихся и студентов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.studmed.ru/docs/document997?view=8> (дата обращения: 12.11.2016).
2. *Воскресенский Д. М.* Устройства СВЧ и антенны, 2003.
3. *Воскресенский Д. И., Канащенков А. П.* Активные фазированные антенные решетки. М.: Радиотехника, 2004. 488 с.
4. Активная фазированная антенная решётка. [<https://ru.wikipedia.org>]: свободная энциклопедия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 12.11.2016).