

УДК 621.396.677.029.66

М. В. Федотова, В. В. Паслєн

Донецкий национальный технический университет

ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ФОРМЫ

Для радиолокации часто требуются антенны, имеющие узкую диаграмму направленности в одной плоскости и широкую в ортогональной плоскости. Для получения такой диаграммы направленности применяют обычно два метода: профилирование зеркала и использование системы распределённых облучателей [14; 15; 19].

В конструкциях антенн с диаграммой направленности специальной формы, в которых используются распределённые облучатели, амплитудой и фазой отдельных излучателей управляют таким образом, чтобы и фазовое и амплитудное распределения в апертуре соответствовали требуемой диаграмме направленности. Возможности расчёта таких систем ограничены недостаточными знаниями о распределении поля в области фокальной точки зеркала, а также физическими ограничениями, связанными с размещением излучающих элементов в пространстве и эффектами взаимной связи [1]. По этим причинам такие системы обычно используют только в тех случаях, когда требования, предъявляемые к антенне, не слишком высоки [3; 11; 13].

Применение антенн для определения направления на источник излучения или для исследования положения многих источников излучения в окружающем пространстве делает актуальной задачу оперативного управления формой характеристики направленности антенны и, в частности, сканирование.

Сканирование, т. е. перемещение луча антенны в пространстве, может осуществляться механическим, электромеханическим и чисто электронным способами.

При механическом способе сканирования осуществляется вращением всей конструкции антенны, которая сильно ограничивает скорость обзора пространства и нуждается в больших энергетических затратах.

При электромеханическом способе сканирования с помощью электромагнитов или электродвигателей осуществляется механическое передвижение одного или нескольких элементов антенны, которая приводит к наклону эквифазной поверхности поля в неподвижном раскрыве. Классическим примером является управление положением луча зеркальной антенны при боковом сдвиге излучателя. Электромеханический способ обеспечивает лучшее быстродействие, так как элементы, которые перемещаются, имеют небольшую массу сравнительно с массой всей антенны.

Однако, ни механический, ни электромеханический способы сканирования не удовлетворяют современным требованиям к скорости обзора пространства и не дают возможности одновременно наблюдать за перемещением нескольких объектов, которые передвигаются с большой скоростью.

Наибольшую скорость обзора обеспечивает электрический способ сканирования. При этом способе амплитудно-фазовое распределение возбуждения в неподвижном раскрыве антенны регулируется с помощью электронно-управляемых устройств, например, полупроводниковых или ферритовых фазовращателей и коммутаторов. Быстродействие сканирования здесь ограничивается инерционностью, обусловленной постоянной времени электрических цепей, причем эта инерция на несколько порядков меньше механической в двух первых способах [3;4].

Электронный способ сканирования может применяться для решения таких задач, как динамическое сканирование окружающего пространства в широком секторе углов, получение диаграммы направленности заданной формы, возможность синфазного сложения сигналов, более полное извлечение информации из сигналов, которые поступают, за счет применения современных методов обработки сигналов, возможность управления эффективной отражающей поверхностью объектов.

Как правило, электронное сканирование реализуется в многоэлементных антенных решетках.

Различают фазовое, амплитудное и частотное сканирования.

В фазовом способе сканирования регулируются только фазовые сдвиги на входах отдельных излучателей решетки при почти не сменном амплитудном распределении.

В амплитудном способе сканирования перемещение луча осуществляется переключением входов многолучевой антенной

системы, т. е. осуществляется коммутация парциальных диаграмм направленности.

При частотном способе электрического сканирования управление фазовыми сдвигами элементов антенной решетки происходит при изменении лишь одного параметра - частоты колебаний; что требует создание специальных частотно-зависимых элементов решетки.

Практическая реализация данного метода является сложной из-за ряда специфических трудностей, таких как появление фазовых ошибок в раскрыве из-за неточности действия управляющих устройств, дискретности фазирования, взаимосвязи элементов при сканировании; появление дополнительных потерь мощности СВЧ в управляющих устройствах; относительная узкополосность, связанная с возможностью появления побочных главных максимумов, высокая начальная стоимость и сравнительно большие эксплуатационные затраты [3].

Применение реверсивных сред является известным методом в конструировании антенной техники [16; 17]: многолучевые зеркальные сканирующие антенны [6-9; 18].

Особенность реверсивной среды заключается в том, что в начальном состоянии она является радиопрозрачной, а при воздействии на нее управляющего сигнала она приобретает свойства отражающей поверхности.

Известно, что строение энергетического спектра является главным фактором, который определяет электропроводимость веществ или, иначе говоря, их принадлежность к группе металлов, полупроводников или диэлектриков.

У диэлектриков валентная зона отделена от зоны проводимости широкой запрещенной зоной (5 - 10 эВ). Поэтому переход электронов к зоне проводимости вследствие теплового возбуждения не возможен.

У металлов нет запрещенной зоны, так как зона проводимости и валентная зона в них перекрываются.

К классу полупроводников принадлежат вещества с шириной запрещенной зоны, которая лежит в пределах 0,01 ~ 5 эВ.

В полупроводнике при низких температурах и отсутствии подвода энергии извне в зоне проводимости нет ни одного электрона, и кристалл не проводит электрический ток, т. е. является изолятором. При подводе энергии извне, например, при нагревании кристалла, амплитуда колебаний ионов в узлах решетки увеличивается, что создаёт возможность перехода электрона из валентной зоны в зону проводимости.

При данной температуре вероятность такого перехода будет тем большей, чем меньшая ширина запрещенной зоны. С другой стороны, чем больше электронов перейдет к зоне проводимости, тем выше электропроводимость кристалла. В отличие от металлов удельное сопротивление собственных полупроводников с ростом температуры уменьшается. Электропроводность при этом возрастает по экспоненциальному закону. Из-за отсутствия излучения вблизи абсолютного нуля температуры идеальный полупроводник ведёт себя как изолятор. С ростом температуры он получает энергию, количество которой в любой момент становится достаточной для массового скачка электронов из валентной зоны к зоне проводимости. В зоне проводимости возникают носители заряда - электроны, в возникшем

свободном месте валентной зоны в тот же время возникает положительный заряд, который равен по величине заряду электрона, перешедшего к зоне проводимости. Данная рекомбинация обуславливает собственную электропроводность полупроводника. Для каждого полупроводника она возникает при различных температурах, тем больших, чем большая ширина запрещенной зоны полупроводника.

Добавление к беспримесному полупроводнику малого количества примесей очень увеличивает его электропроводимость. При добавлении в полупроводник примесей происходит замещение в кристаллической решетке атомов полупроводника атомами примесей, вследствие чего в идеальном полупроводнике появляется дырочная, или электронная проводимость. Однако характер электропроводности изменяется с увеличением температуры. При повышении температуры в зону проводимости во всевозрастающих количествах поступают электроны из примесных уровней и из валентной зоны. Электропроводность начинает приобретать смешанный характер. По мере повышения температуры примесные уровни истощаются, так как концентрация доноров в полупроводнике имеет конечное значение. В конце концов при некоторой температуре поставщиком электронов в зону проводимости становится одна валентная зона.

Увеличение концентрации примесей в полупроводнике уменьшает величину переходной области между примесной и собственной проводимостью. Это означает, что возбуждение электронов из валентной зоны начинается раньше, за окончательное исчерпание электронов на примесных уровнях. При дальнейшем повышении содержания примесей энергия активных примесных центров начинает

уменьшаться. Из некоторой концентрации она превращается в нуль, т. е. полупроводник превращается в полуметалл. Такие вещества при низких температурах ведут себя как металлы, а при высоких - как диэлектрики. Таким образом, в качестве реверсивной среды может быть использованный насыщенный примесями полупроводник, свойствами которого можно управлять с помощью температуры.

Подобный эффект происходит при воздействии на полупроводниковую пластину светового или электронного луча. Под влиянием энергии облучения, которая поглощается полупроводником, в нем возникает дополнительная электропроводность. Электропроводность под влиянием облучения возникает благодаря тому, что, отдавая свою энергию валентным электронам, фотоны увеличивают количество носителей заряда.

При постоянной температуре и отсутствии облучения электропроводность собственного или примесного полупроводника называется темновой электропроводимостью. После облучения полупроводника светом с энергией фотонов, которая превышает ширину запрещенной зоны собственного полупроводника или энергией ионизации примесного полупроводника, в зоне проводимости появляются дополнительные неравновесные носители зарядов. В результате электропроводность полупроводника возрастает.

Установлено, что подвижность фотоносителей не отличается от подвижности темновых носителей заряда, которые вызываются тепловым движением.

Образование фотоносителей вызывает локальные изменения всех электромагнитных параметров материала: коэффициентов отражения,

преломления и прохождения электромагнитной волны. В необлучённом состоянии реверсивная среда имеет малое темновое возбуждение, которое характеризует её как радиопрозрачную среду.

В качестве источника освещения могут быть использованы мощные источники приблизительно солнечного спектрального состава, причем наилучшие характеристики реверсивных материалов достигаются при уровнях облучения лк, так как при таком уровне освещенности не наблюдается заметного насыщения как в режиме прохождения электромагнитной волны, так и режиме отражения [2; 3].

В предложенном нами способе сканирования поверхность реверсивной среды облучается интенсивным световым пятном необходимой формы и размеров. Изменение размеров светового пятна приводит к изменению ширины диаграммы направленности и ее формы в заданной плоскости. Очевидно, что ширина диаграммы направленности антенны зависит от величины, формы и ориентации светового пятна: чем шире световое пятно, тем уже диаграмма направленности и ее форма в заданной плоскости. Последовательно перемещая освещенную (возбужденную) область по поверхности зеркала осуществляется перемещение (сканирование) диаграммы направленности в пространстве. При этом скорость сканирования ограничивается только скоростью перехода реверсивной среды из непроводящего состояния в проводящее (определяется временем жизни неравновесных носителей тока) и скоростью перемещения светового воздействия; закон изменения положения освещенной области, а, вследствие этого, и диаграммы направленности антенны в пространстве может быть любым заданным.

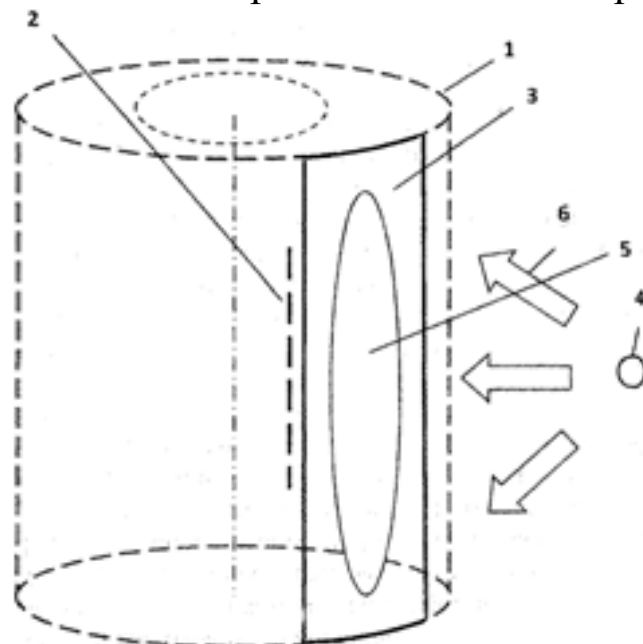
Таким образом, данный способ позволяет получить заданную форму и ширину диаграммы направленности антенны в СВЧ-диапазоне, а также управлять диаграммой направленности антенны в процессе сканирования по заданному закону, который обеспечивает гибкость траектории и скорость развертки [14].

Полупроводниковый материал, который используется при создании зеркала антенны, должен отвечать ряду требований, в частности, требованиям относительно инерционности, спектральных характеристик, механических свойств и т. п. При этом полупроводниковая пластина должна иметь высокую амплитудную и фазовую однородность, чему отводится особое внимание при разработке этого элемента.

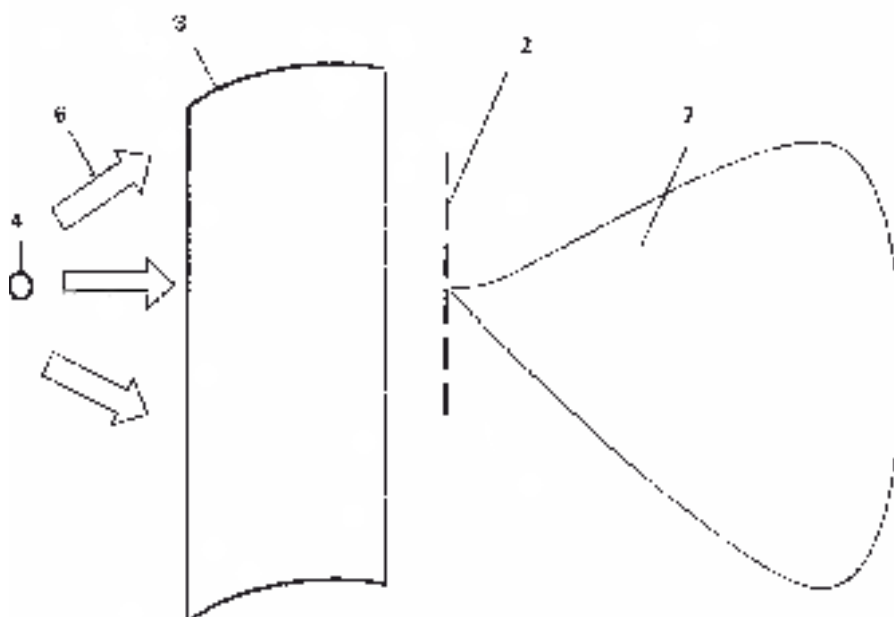
В качестве полупроводниковых пластин могут быть использованные наборные монокристаллические панели из кремния n-типа (удельное сопротивление 150 - 200 Ом•см, время жизни неравновесных носителей тока $\tau \sim 50$ мкс). Известно, что темновой коэффициент отражения таких монокристаллических пластин на резонансной длине волны составляет приблизительно 0,1 - 1 %, а поликристаллических слоев (на основе сульфида и селена кадмия) толщиной 200 - 300 мкм в 8 мм диапазоне - от 1,5 до 5 %, а в 3 см диапазоне - от 0,8 до 2 %. Время жизни неравновесных носителей тока в поликристаллических слоях $\tau \sim 0,5 - 1$ мкс. Если монокристаллические панели имеют низкую инерционность, то поликристаллы более технологичны, что позволяет при уже существующей технологии получить пластины размеров, которые нужны для создания зеркала антенны. Такие пластины характеризуются лучшими показателями

амплитудной и фазовой однородности (средний квадратичный разброс по всей рабочей поверхности не превышает 1 - 5 % по амплитуде и 1,5 - 2° по фазе в режиме прохождения электромагнитной волны) при больших размерах пластин (до 50λ).

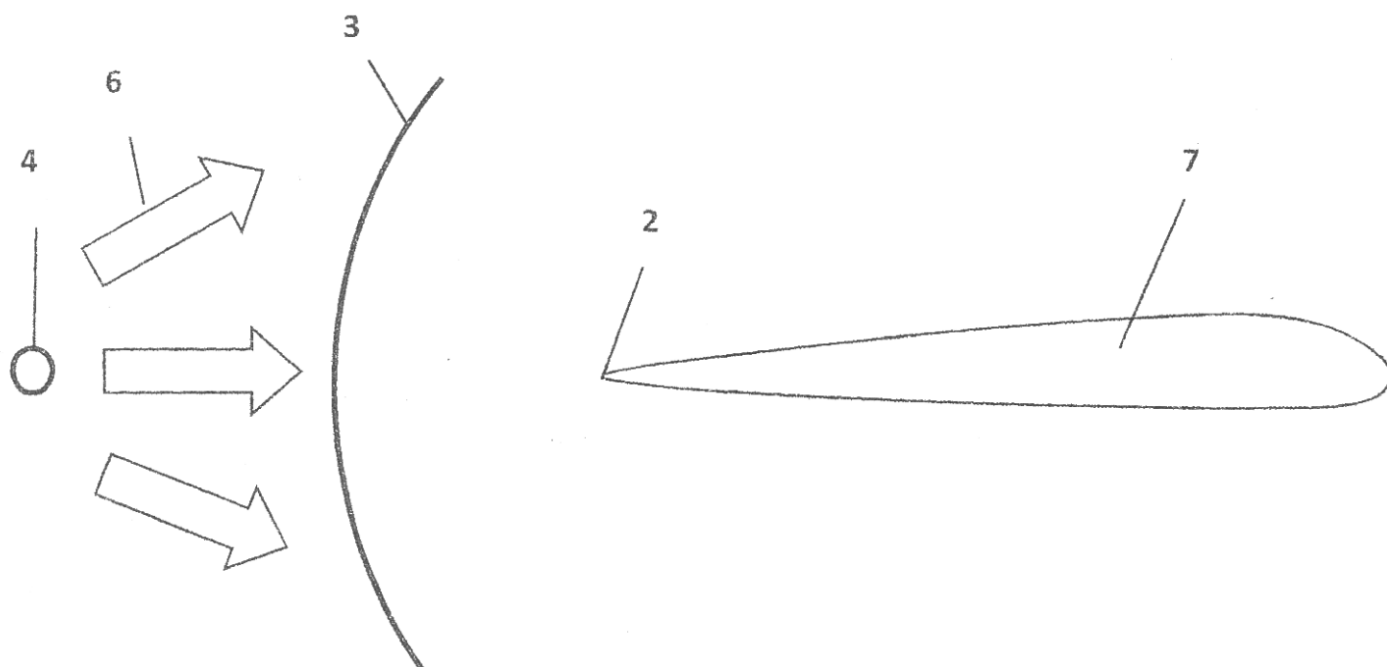
Нами предлагается использование в качестве одного из методов цилиндрическая сканирующая антенна, состоящая из цилиндрического зеркала, выполненного из радиопрозрачного материала и покрытого реверсивной средой. Часть боковой поверхности данного цилиндра может быть приближена с некоторой точностью параболическим цилиндром.



а - геометрическая модель



б - физическая модель



в - горизонтальный профиль

Рис. 1. Цилиндрическая сканирующая антенна

1 - цилиндрическая антенна из радиопрозрачного вещества, покрытая реверсивной средой; 2 - линейный облучатель антенны параболический цилиндр; 3 - источник управляющих сигналов; 4 - активная часть цилиндра; 5 - управляющие сигналы; 6 - источники управляющих сигналов; 7 - диаграмма направленности специальной формы

Цилиндрическое зеркало выполнено из радиопрозрачного материала. Внутренняя поверхность цилиндрического зеркала 1 покрыта реверсивным материалом, например, селенидом кадмия. Облучатель 2 расположен в фокусе составного элемента параболический цилиндр 3. Источники управляющих сигналов 4 влияют на поверхность реверсивного материала в областях 5 управляющими сигналами 6.

В качестве источников управляющих сигналов 4 используются источники с необходимыми спектральными свойствами - например, специально подобранные мощные светодиодные источники [4].

Устройство работает следующим образом.

При возбуждении реверсивной поверхности параболического цилиндра 3, составной части цилиндрического зеркала 1, изображенного на рис. 1, управляющими сигналами 6, которые поступают от источника управляющих сигналов 4 в области 5

реверсивного материала, происходит увеличение его радиоотражающих свойств, благодаря чему сигнал, который поступает от излучателя 2 отражается от области 5, формируя тем самым диаграмму направленности специальной формы (узкую в горизонтальной плоскости и широкую в вертикальной) 7 [18; 19].

Выводы. Благодаря возможности сканирования диаграммы направленности в широком спектре углов в многолучевой цилиндрической сканирующей антенне следующие преимущества:

1. Возможность одновременного сопровождения большого числа подвижных объектов в широком секторе углов благодаря увеличению площади антенны;
2. Угол обзора пространства может достигать полного угла (360°).
3. Быстродействие по сравнению с механическим, электрическим и электромеханическим типом сканирования за счет использования электронного типа сканирования;
4. Возможность изменения основных характеристик и параметров антенны в процессе сканирования;
5. Отсутствие элементов коммутации, фазовращателей и других затемняющих элементов [5; 10].

Библиографические ссылки

1. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учеб. для вузов / Г. А. Ерохин и др. - 2-е изд. - М., 2004 - 264 с.
2. Вайнберг И. А. Индикация структуры электромагнитного поля при помощи неравновесных носителей тока в полупроводниках. Радиотехника и электроника / И. А. Вайнберг, Э. И. Вайнберг, В. А. Павельев.- М., 1971. №3 - 1971 с.
3. Вайнберг И. А. Исследование амплитудно-фазовой структуры ближнего поля антенны СВЧ при помощи фотоуправляемых полупроводниковых панелей. Радиотехника и электроника / И. А. Вайнберг, В. А. Павельев. - М., 1971. №9 - 1685 с.
4. Волькенштейн Ф. Ф. Электроны и кристаллы / Ф. Ф. Волькенштейн- М., 1983. -128 с.
5. Декларацийний патент № 15822 Антена секторного сканування / Михайлов М. В., Хорхордин А. А., Паслен В. В. 17.07.06 бюл. № 7.

1. Деклараційний патент № 13225 Багатопроменева дзеркальна антена / А. А. Хорхордин, В. В. Паслен, 15.03.06 бюл. № 3.

2. Деклараційний патент № 20355 Багатопроменева дзеркальна антена / М. В. Михайлов, А. А. Хорхордин, В. В. Паслен, 15.01.07 бюл. № 1.

3. Деклараційний патент № 13127 Багатопроменева дзеркальна антена / М. В. Михайлов, А. А. Хорхордин, В. В. Паслен, 15.03.06 бюл. № 3.

4. Деклараційний патент № 20781 Багатопроменева дзеркальна скануюча антена / М. В. Михайлов, А. А. Хорхордин, В. В. Паслен, 15.02.07 бюл. № 2.

5. Зуев В. А. Неравновесные приповерхностные процессы в полупроводниках и полупроводниковых приборах. / В. А. Зуев, А. В. Саченко, К. Б. Толпыго. - М., 1977. - 256 с.

6. Камнев В. М. Спутниковые сети связи / В. М. Камнев. - М., 2004. - 536 с

7. Луханина О. В. Развитие теории и техники антенн/О. В. Луханина К. И. Мотылев, Е. В. Гончаров и др. // Матеріали ІІІ Міжнародної науково-практичної конференції «Динаміка наукових досліджень 2004». Т. 8. Технічні науки. - Дніпропетровськ, 2004. - С. 26-27.

8. Марков Г. Т. Антенны. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Г. Т. Марков, Д. М. Сазонов. -М., 1975.-528 с.

9. Нашельский А. Я. Технология полупроводниковых материалов / А. Я. Нашельский.-М., 1973.-336 с.

10. Паслен В.В. О возможности использования реверсивных сред в антенной технике / В. В. Паслен // Международная научно-практическая конференция «Человек и космос»: Сборник тезисов. - Днепрпетровск, 2004. - с. 296.

11. Патент №u200509555 Украина, МПК H01Q25/00. Донецкий национальный технический университет. А.А. Хорхордин, В.В. Паслен, опубл. 15.03.2006, Бюл. №3.

17. Патент №u200509109 Украина, МПК H01Q25/00. Донецкий национальный технический университет. Д.Л. Хорхордин, В.В. Паслен, опубл. 15.03.2006, Бюл. №3.

18. Патент України №аркуш85504: МПК 9 H01Q25/00

Багатопроменева дзеркальна антена: / Михайлов Максим Володимирович (UA), Хорхордін Олександр Олександрович (UA), Пасльон Володимир Володимирович (UA), Щербов Ігор

18.Леонідович (UA); № 200608581; заяв. 31.07.2006; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 12, Пріоритет 15.05.2002.

19. Хорхордин А.А. О возможности использования реверсивных сред в антенной технике / А.А. Хорхордин, Ю.В. Носко, В.В. Паслен // Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і космос»: Збірник тез. - Дніпропетровськ, 2004.-с. 296.