

## АНТЕННЫ С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ

К. А. ЛУКИН, В. П. ПАЛАМАРЧУК, Ю. В. ЮРЧЕНКО, Н. К. ЗАЕЦ

Развивается ранее предложенная концепция построения приемно-передающих сканирующих антенн нового типа — *антенн с синтезированием диаграммы направленности*. В них используется перемещение излучающего или принимающего элемента антенны вдоль ее апертуры в сочетании с синтезированием диаграммы направленности. Перемещение излучателя может быть либо реальным, либо виртуальным. Ранее были исследованы спирально-волноводно-щелевая и ленточно-щелевая сканирующие антенны с синтезированием диаграммы направленности и описано их применение в наземных шумовых РСА для получения радиоизображений, в том числе радиометрических. В данной работе предложен и исследован еще один вариант сканирующей антенны с синтезированием диаграммы направленности — спирально-щелевая сканирующая антенна. Изучены основные характеристики такой антенны и описаны ее модификации. Кроме того, описана предложенная ранее сканирующая антенна такого типа для осуществления трехмерного сканирования. Кратко описаны технические решения для сканирующих антенн с виртуальным перемещением излучателя, достигаемым с помощью электронного или электромеханического переключения состояния излучателя антенной решетки. Для реализации второго варианта предложено применение МЭМС переключателей.

*Ключевые слова:* сканирующая антенна с синтезированием диаграммы направленности; антенная решетка; щелевая антенна; диаграмма направленности; когерентное изображение; наземный шумовой РСА.

### ВВЕДЕНИЕ

В работах [1–3] предложена концепция построения приемно-передающих сканирующих антенн нового типа, получивших название *антенн с синтезированием диаграммы направленности*. Предложенная концепция основывается на использовании перемещения излучающего или принимающего элемента антенны вдоль ее апертуры в сочетании с синтезированием диаграммы направленности (или луча) антенны с помощью РСА обработки записанной информации об излученных и принятых сигналах в каждом положении этих антенн. Физическое перемещение излучателя может быть либо реальным, либо виртуальным (переключение фазового центра излучения) за счет поочередного подключения излучателей одномерной антенны к одноканальному приемно-передатчику. В работах [4–7] приведены результаты исследований двух реализаций такого подхода, а именно спирально-волноводно-щелевой и ленточно-щелевой сканирующих антенн с синтезированием диаграммы направленности. Описаны их конструкции и основные характеристики, а также приведены результаты их лабораторных и полевых испытаний. Кроме того, в работах [8–18] детально описаны наземные шумовые РСА разработанные и созданные на основе предложенных антенн и их применение для получения радиоизображений в трехсантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн, в том числе и для построения радиометрического приемника с синтезированием апертуры, позволяющего получать изображение в плоскости азимут-дальность [19–20].

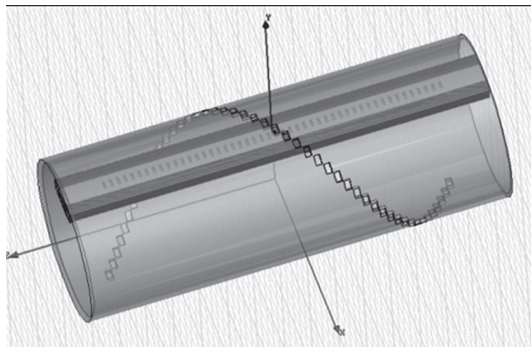
В данной работе мы исследуем возможности дальнейшего развития предложенного направления антенной техники. В частности разработан еще один вариант сканирующей антенны

с синтезированием диаграммы направленности, в которой сочетается элегантность конструкции спирально-волноводно-щелевой антенны с широкополосностью и другими преимуществами ленточно-щелевой сканирующей антенны. Рассмотрены и исследованы основные характеристики такой антенны. Кроме того, представлены результаты дизайна предложенной ранее двумерной ленточной сканирующей антенны для осуществления трехмерного сканирования. Также кратко описаны технические решения для сканирующих антенн с виртуальным перемещением излучателя, что достигается с помощью либо электронного или электромеханического переключения состояния излучателя антенной решетки. Для реализации второго варианта предложено применение МЭМС переключателей.

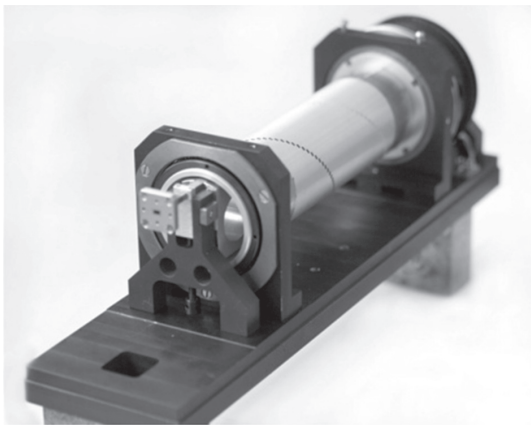
### 1. СПИРАЛЬНО-ЩЕЛЕВАЯ СКАНИРУЮЩАЯ АНТЕННА С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ

Ленточно-щелевая антенна с синтезированием диаграммы направленности обладает большей широкополосностью излучения по сравнению со спирально-волноводно-щелевой антенной, где полоса резонансного излучения гораздо уже из-за наклонного расположения щелей в волноводе. Однако конструкция антенны с использованием вращения цилиндра относительно прямолинейного волновода для организации виртуального перемещения излучателя вдоль волновода выглядит более предпочтительной по сравнению с конструкцией ленточно-щелевой антенны, использующей движение ленты с щелью вдоль волновода. В данном разделе кратко описан еще один вариант сканирующей антенны с синтезированием диаграммы направленности,

в которой сочетается элегантность конструкции спирально-волноводно-щелевой антенны с широкополосностью и другими преимуществами ленточно-щелевой сканирующей антенны. На рис. 1, *а* схематически показана конструкция антенны, обеспечивающая перемещение положения излучающей щели вдоль апертуры, а на рис. 1, *б* – фотография общего вида такой антенны.



*а*

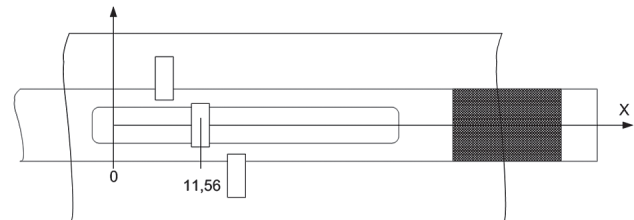


*б*

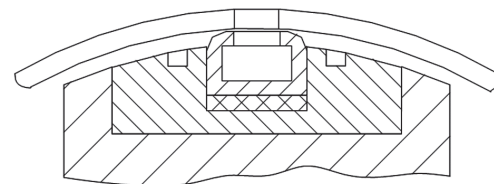
Рис. 1. Спирально-щелевая сканирующая антенна с синтезированием диаграммы направленности, использующая одномерную решетку излучающих щелей в волноводе:  
*а* – конструкция антенны (схематически), обеспечивающая виртуальное перемещение положения излучающей щели вдоль апертуры;  
*б* – фотография спирально-щелевой антенны

На рис. 1, *а* показан вариант такой антенны, в которой используется волновод, в широкой стенке которого выполнена периодическая решетка из полуволновых щелей (см. рис. 1, *а*). В этой конструкции резонансная щель обеспечивает высокую эффективность излучения, а щели во вращающемся цилиндре играют роль прозрачных окон, разрешающих излучение в том участке апертуры, где имеет место полное наложение этой щели на резонансную щель волновода, соответствующее пересечению спирали с линией волновода. К преимуществам данного решения можно отнести возможность управления эффективностью отбора энергии за счет соответствующего выбора профиля щелей в волноводе. Однако в такой конструкции антенны наряду с предотвращением просачивания энергии из не-

излучающих щелей необходимо принять меры и против нежелательного Брэгговского отражения волны от периодической решетки полуволновых щелей, например, нарушая периодичность их расположения. В обоих случаях применение дроссельных канавок в сочетании с поглотителями существенно улучшает электродинамические характеристики разрабатываемых антенн. Для данной конструкции антенны сохраняется возможность излучения энергии не только через открытую щель, но и ее просачивание через экранированные щели. Для предотвращения такого просачивания необходимо сделать коротко замыкающие структуры на внутренней стороне вращающегося цилиндра, что усложняет изготовление антенны. Для того, чтобы обойти эту трудность, можно использовать другую конструкцию. В прямолинейном волноводе, по которому распространяется волна, прорезается продольная неизлучающая щель аналогично тому, как это сделано в ленточно-щелевой антенне (рис. 2).



*а*



*б*

Рис. 2. Спирально-щелевая сканирующая антенна 4-мм диапазона с синтезированием диаграммы направленности, использующая продольную щель в волноводе: *а* – конструкция антенны (схематически), обеспечивающая перемещение положения излучающей щели вдоль апертуры;  
*б* – поперечное сечение спирально-щелевой антенны

Полый цилиндр, в котором прорезаны расположенные по спирали щели, монтируется так, что его внутренняя поверхность находится в непосредственной близости к волноводу. Размеры цилиндра и размеры щелей выбраны таким образом, чтобы реализовать резонансное излучение энергии волны, бегущей вдоль волновода, в той точке, где это отверстие пересекается с прямолинейным волноводом. Остальная часть открытого волновода должна надежно экранироваться поверхностью цилиндра. При этом для эффективного отбора энергии желательно обеспечить омический контакт цилиндра с волноводом, что создает дополнительные трудности при реализации предложенного принципа. Кроме того, необходимо применять дополнительные меры

для предотвращения паразитной утечки энергии волны в область между экранирующей поверхностью цилиндра и открытым волноводом.

Нами был изготовлен макет такой антенны и выполнены измерения амплитуды сигналов, излучаемых щелями антенны. Схема измерительной установки приведена на рис. 3.

Измерения выполнялись в диапазоне частот 70–77 ГГц с шагом 500 МГц для 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60 и 64-ой щели цилиндра. Мощность, подводимая к антенне – 5 мВт. Генератор работал в режиме амплитудной модуляции с частотой 1 кГц. Детектор выполнен на базе диода Д407. Настройка на максимум сигнала осуществлялась на средней

частоте 73,5 ГГц путем перемещения рупорной антенны с детектором вдоль оси волновода антенны. Результаты приведены на рис. 4, 5, 6 и 7.

Из рисунков видно, что эффективность излучения изменяется как с изменением положения излучающей щели (на рисунках отмечено номером щели), так и с изменением излучаемой частоты. В диапазоне 70–72 ГГц эти изменения не превышают 3 дБ, что вполне приемлемо в радиолокации.

Эффективность излучения в такой антенне может быть улучшена, если вдоль щели поместить диэлектрическую вставку, которая концентрирует поле внутри диэлектрика и обеспечивает мягкое скольжение при вращении цилиндра.

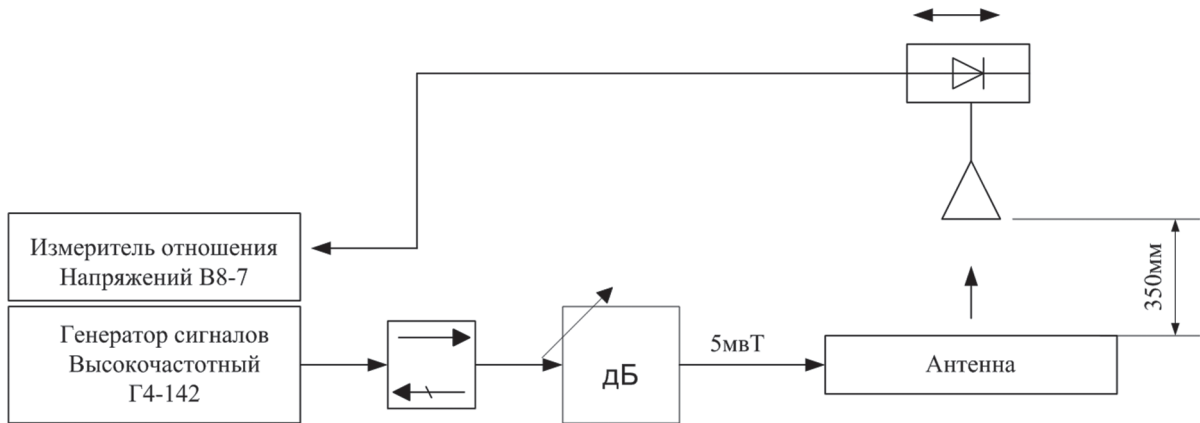


Рис. 3. Схема измерительной установки

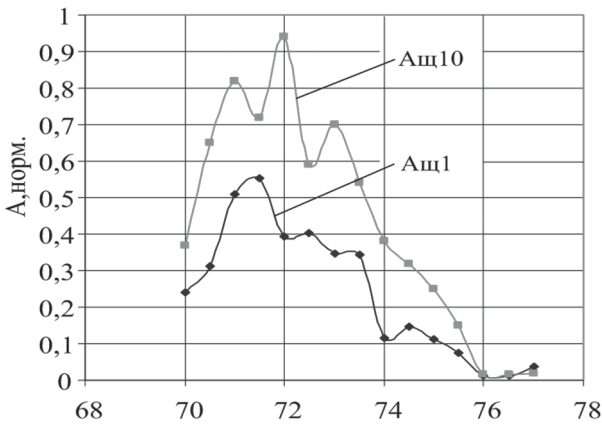


Рис. 4. Характер излучения первой щели (Ащ1) и десятой (Ащ10)

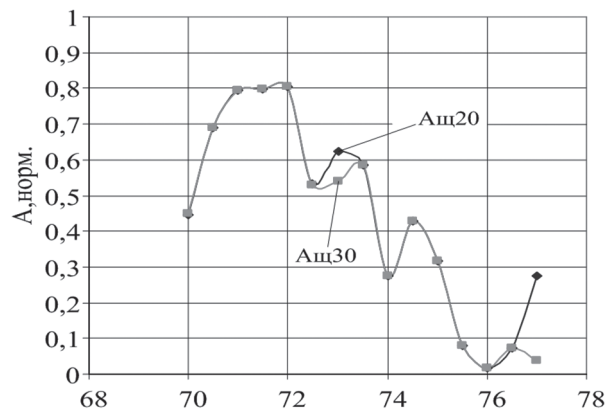


Рис. 5. Характер излучения двадцатой щели (Ащ20) и тридцатой (Ащ30)

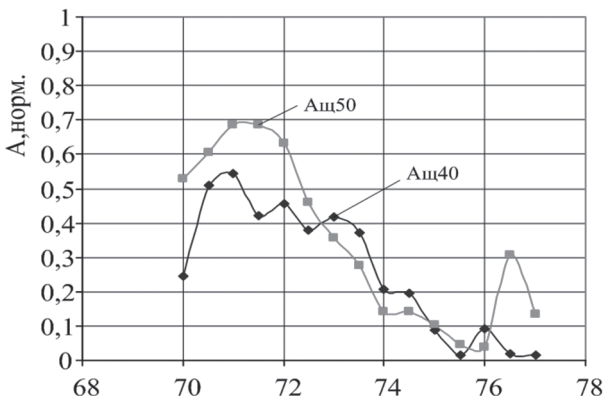


Рис. 6. Характер излучения сороковой щели (Ащ40) и пятидесятой (Ащ50)

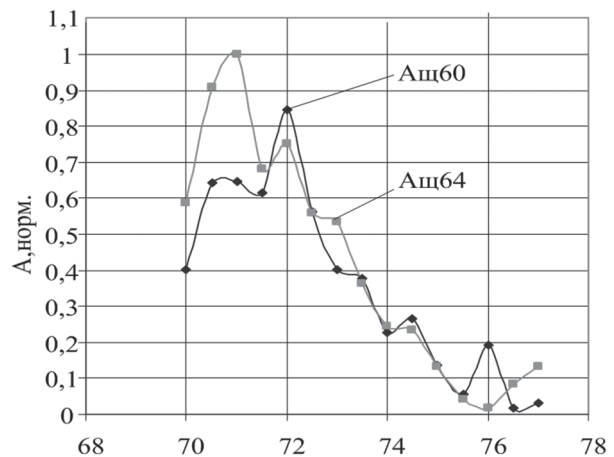


Рис. 7. Характер излучения шестидесятой щели (Ащ60) и шестидесятой четвертой (Ащ64)

Были проведены соответствующие расчеты для конструкции антенны, схематически показанной на рис. 8.

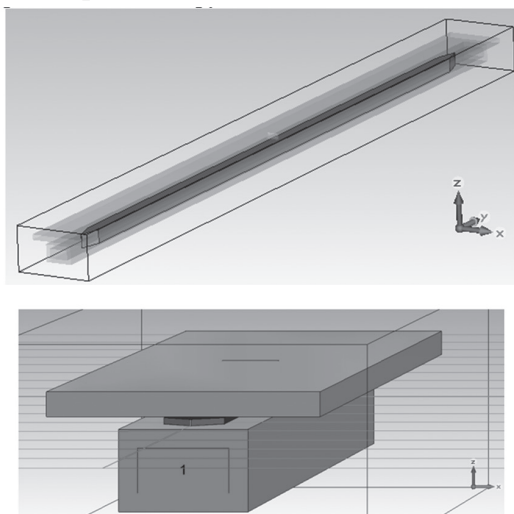


Рис. 8. Модель антенны с диэлектрической вставкой: диэлектрическая вставка выделена темно-серым, а металлические поверхности – светло-серым цветом

В волновод помещена диэлектрическая вставка, профиль которой в плоскости ХУ совпадает с профилем неизлучающей щели. При этом диэлектрическая вставка немного выступает над внешней верхней стенкой волновода или совпадает с ней. Над волноводом на фиксированном расстоянии расположен металлический экран, в котором имеется резонансная прямоугольная щель.

Сигнал подается в волновод со стороны порта 1, проходит по волноводу в направлении оси Y, частично отводится через продольную щель, заполненную диэлектриком и излучается через резонансную щель в экране, в свободное пространство.

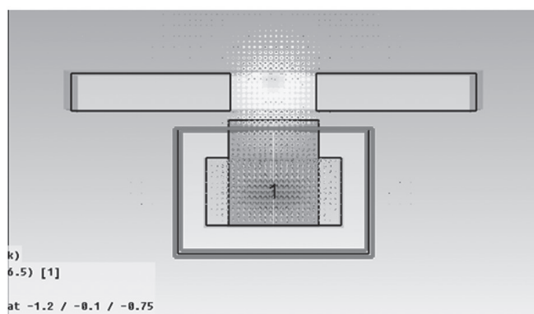


Рис. 9. Распределение поля внутри антенны с диэлектрической вставкой:

При увеличении высоты вставки, усиливается процесс концентрации поля как в диэлектрическом гребне, так и в его окрестности, т.е. в воздушном зазоре под экраном. При достижении высоты диэлектрического гребня равной 0, 25 мм (а высота всей вставки примерно равна длине волны 4,05 мм), обнаружен ярко выраженный эффект направленной передачи энергии поля волновода в излучающую щель в экране. Электрическое поле не только равномерно распределяется в гребне,

в воздушном зазоре над гребнем, но и активно проникает в щель в экране. Амплитуда поля на выходной апертуре щели экрана составляет 60% амплитуды поля в прямоугольном волноводе. При этом поле равномерно распределяется вдоль щели волновода. Диаграммы направленности антенны в Е- и Н-плоскостях для этого оптимального случая показаны на рис. 10.

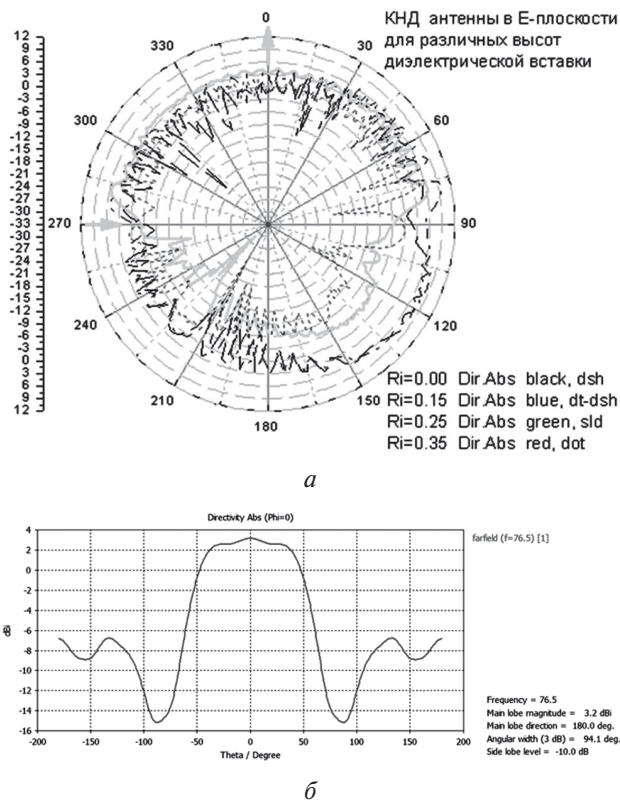


Рис.10. Диаграмма направленности спирально-волноводной антенны с диэлектрической вставкой: а – Е-плоскость и б – Н-плоскость

Таким образом, применение диэлектрической вставки в рассматриваемой антенне позволяет повысить эффективность излучения поля волновода и обеспечивает упрощение конструкции антенны.

## 2. ДВУХМЕРНАЯ ЛЕНТОЧНАЯ СКАНИРУЮЩАЯ АНТЕННА С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ

Разработанная ленточно-щелевая антенна с синтезированием диаграммы направленности послужила прототипом для двухмерной сканирующей антенны, предложенной в [7]. Как уже отмечалось, в обзорных радарх ближнего действия обычно требуются антенны с максимально широкой диаграммой направленности в азимутальной плоскости, что легче всего обеспечивается с помощью резонансной щели, вырезанной в ленте предложенной антенны перпендикулярно к азимутальной плоскости. С целью обеспечения сектора обзора и в угломестной плоскости антенны была разработана и испытана двухмерная лен-

точная сканирующая антенна, конструкция которой схематически показана на рис. 11.

В двухмерной ленточной сканирующей антенне мы также используем принцип перемещающегося излучателя подобный тому, который использовался в одномерной ленточно-щелевой сканирующей антенне. Однако вместо одного излучателя на ленте мы будем использовать линейную решетку излучателей (или приемных элементов), которая формирует диаграмму направленности антенны в угломестной плоскости. При этом для каждого скана реализуется заданное направление, чем и осуществляется сканирование основного лепестка диаграммы антенны в угломестной плоскости. Очевидно, что при использовании одноканального приемника, в активном состоянии следует использовать только одну решетку излучателей (или приемных элементов), подключаемую к передатчику (или приемнику) с помощью СВЧ связи этой решетки с питающим волноводом через продольную неизлучающую щель, прорезанную в его широкой стенке. Однако в данном случае наиболее эффективная СВЧ связь реализуется с помощью резонансного штыря, движущегося внутри волновода.

Использование набора микрополосковых излучателей (МИ) с заданной ориентацией луча каждого МИ в угломестной плоскости является важным элементом разработки предлагаемой конструкции. Для каждого угла места используются сжатие сигнала по дальности и азимуту аналогично тому, как это делалось в одномерной ленточно-щелевой сканирующей антенне. Таким образом, трехмерное изображение может быть получено с помощью комбинации набора двухмерных изображений, полученных для каждого доступного угла места.

Схема элементов и блоков двухмерной ленточной сканирующей антенны, приведена на рис. 11, который иллюстрирует принцип ее работы. Набор МИ 1 установлен на кольцевой ленте 2 эквидистантно. Каждый МИ представляет собой печатную плату, состоящую из антенной решетки (АР) прямоугольных излучателей в виде прямоугольных площадок (микрополосковых пэтчей) и микрополосковых линий их питания. Линии питания служат для создания требуемого амплитудно-фазового распределения поля в АР. Число МИ  $K$  равно числу заданных положений луча в угломестной плоскости. Таким образом, каждый МИ можно индивидуально оптимизировать для получения необходимой диаграммы направленности антенны с шириной и заданным направлением главного максимума. Открытые волноводы собраны в виде отдельного блока 3. Длины волноводов определяют длину синтезированной апертуры и, таким образом, разрешение по азимуту. Слой диэлектрика 6 предназначен для расширения диаграммы направленности МИ в азимутальной плоскости. Более целесообразно использовать одноканальный прием для записи когерентных радиоизображений в каждом из угломестных направлений из-за довольно высокой стоимости микроволновых когерентных приемо-передатчиков. В этом случае для подключения МИ к входу приемо-передатчика необходим  $M$ -канальный мультиплексер 4. Количество  $M$  волноводов в блоке может быть в  $K = L/A$  раз меньше количества МИ, где  $L$  является общей длиной кольцевой ленты 2. Таким образом, в любой момент времени только один МИ соединен с одним из  $M$  волноводов. Более детальное описание расчета МИ для данной антенны можно найти в [7].

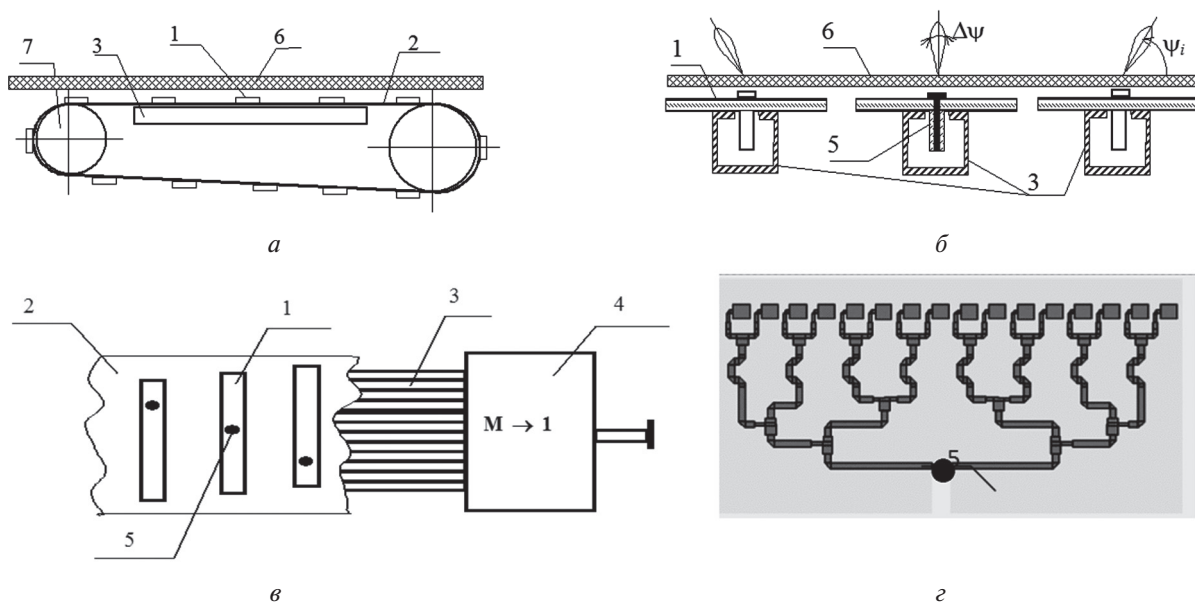


Рис. 11. Двухмерная ленточная антенна с синтезированием диаграммы для сканирования луча в азимутальной и угломестной плоскостях: *a, б, в* – три различные проекции антенны; *г* – микрополосковый излучатель (МИ): 1 – МИ; 2 – лента, 3 – СВЧ блок, содержащий  $M$  открытых волноводов; 4 – волноводный мультиплексер (типа  $M \rightarrow 1$ ); 5 – элемент связи МИ и волновода; 6 – слой диэлектрика; 7 – два приводных барабана

Предлагаемая двухмерная сканирующая антенна прошла первый этап проектирования для использования в системе получения трехмерных радиоизображений. Одномерная ленточная сканирующая антенна была протестирована вместе с приемо-передатчиком на подвижной платформе. К настоящему времени разработана версия двухмерной ленточной сканирующей антенны с 36 МИ с шириной диаграммы направленности в вертикальной плоскости равной  $2.8^\circ$  и сектором сканирования  $70^\circ$  в 8-миллиметровом диапазоне. Длина синтезированной апертуры составляет 1200 мм, а число волноводов в антенне, равно 12. Расположение МИ на кольцевой ленте и алгоритм их коммутации позволяет одновременно делать строчную и черезстрочную запись радиоизображения. Таким образом, при необходимости МИ четных и нечетных линии могут иметь ортогональную поляризацию. Излучатели сделаны из эластичного материала “Duroid” и соединены с медной лентой толщиной 50  $\mu\text{m}$  с помощью термокомпрессионного метода. Стабилизация движения кольца-ленты, в плоскости, перпендикулярной к ее поверхности происходит за счет скольжения по алюминиевым направляющим блока 3 (рис. 11, в). Примерное время записи радиоизображения составляет примерно одну секунду.

### 3. ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВАЯ АНТЕННА С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ

В этом типе сканирующей антенны с синтезированием диаграммы направленности было предложено использовать виртуальное перемещение (перемещение фазового центра) излучающего элемента [3, 6], осуществляемое за счет электромеханического переключения состояния излучающих элементов одномерной решетки. Антенна состоит из волновода с линейной решеткой эквидистантно расположенных резонансных излучающих щелей. Каждая щель закрыта экранирующей полоской, которая может находиться в трех различных состояниях: 1) коротко замыкающий отражатель (дроссель), 2) открыто и 3) закрыто. Второе и третье состояния используется для открывания или закрывания каждой щели согласно управляющему сигналу, в то время как первое состояние используется для отражения дальнейшего распространения волны с целью повышения эффективности излучения. Переключение осуществляется электромеханическими переключателями, например, комбинацией пружин с электромагнитами. Линейное виртуальное перемещение (перемещение фазового центра) излучающей щели выполняется последовательно во времени, при этом состояние каждой щели изменяется в следующей последовательности: «дроссельное» состояние, открытое состояние и закрытое состояние. Последнее состояние удерживается на все оставшееся время сканирования. Скорость сканирования этой антенны будет определяться быстродействием

электромеханических переключателей. Антенна находится на стадии разработки.

### 4. МИКРОПОЛОСКОВАЯ СКАНИРУЮЩАЯ АНТЕННА С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ

Аналогичная по принципу работы конструкция может быть реализована и для микрополосковых антенн. С этой целью нужно изготовить линейную решетку излучающих площадок и параллельную ей линейную решетку дроссельных, и расположить запитывающую микрополосковую линию между ними. Каждая площадка должна соединяться с микрополосковой линией передачи через переключатель. Линейное виртуальное перемещение (перемещение фазового центра антенны) излучателя выполняется благодаря подключению/отключению излучающих и дроссельных площадок, аналогично, выше-рассмотренному случаю: 1) “излучатель отключается”, а “дроссель подключается”; 2) “излучатель подключается”, а “дроссель отключается”; 3) “излучатель и дроссель отключаются”. Для обеспечения высокой эффективности излучения, малых потерь и низкого уровня паразитной связи излучателей следует использовать МЭМС переключатели, имеющие маленькие потери, низкое потребление мощности и высокую степень развязки, или PIN переключатели, характеризующиеся высоким быстродействием.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В течение последних 15 лет в отделе 17 ИРЭ НАН Украины была предложена и разработана новая концепция построения сканирующих антенн миллиметрового диапазона. Главная идея этой концепции состоит в комбинации механического перемещения простой приемно-передающей антенны вдоль реальной апертуры неподвижной антенны, регистрации принятого сигнала в каждом положении антенны и синтезирования ее диаграммы направленности с помощью методов РСА. Ранее было разработано, сконструировано и исследовано два типа сканирующих антенн с синтезированной апертурой в 8-миллиметровом диапазоне. Проведенные эксперименты показали высокую эффективность предложенных антенн, работающих не только в приемном, но и в передающем режимах. Данные антенны отличает их способность обеспечивать высокое разрешение по азимуту на расстояниях, соответствующих ближней зоне антенны с реальной апертурой того же размера, а также обеспечение рекордно широких углов обзора ( $\sim 140^\circ$ ) в азимутальной плоскости, недостижимых при использовании антенн других типов. В предложенных антеннах для сканирования в реальном времени надо использовать достаточно быстрые цифровые сигнальные процессоры и быстрые алгоритмы получения РСА-изображения. Наряду с тем, есть много приложений, в которых работа в реальном масштабе времени не требуется. Например, предложенные антенны с син-

тезированием диаграммы направленности очень подходят при создании наземных РСА [8–18], предназначенных для мониторинга структурных изменений в таких объектах как большие здания, мосты, телевышки, дамбы, и т.д., с целью обнаружения незаметных глазу структурных изменений и следовательно регистрации пред-катастрофических состояний наблюдаемых объектов. Кроме того данные антенны могут применяться для мониторинга областей с интенсивным движением, таких как шоссе, железные дороги, взлетно-посадочные полосы аэропорта [18], морские порты, и т.д. Предложенная концепция была использована при разработке антенн для шумового двухпозиционного РСА наземного базирования, позволяющего осуществлять мониторинг саркофага Чернобыльской АЭС на предмет возможных структурных изменений [16].

В качестве дальнейших перспективных разработок антенн данного класса предложены и изучены несколько новых конструкций, пригодных для различных приложений. Предложены, изготовлены и изучены несколько вариантов спирально-щелевой антенны с синтезированием диаграммы направленности. Исследования показали возможность упрощения конструкции таких антенн и одновременного повышения их энергетической эффективности и быстродействия. Кроме того, предложена двухмерная ленточная сканирующая антенна [7], которая позволяет получать трехмерные когерентные изображения объектов в миллиметровом диапазоне с помощью радара с синтезированной апертурой в реальном масштабе времени. Ленточная сканирующая антенна имеет угол обзора в азимутальной плоскости  $\sim 140^\circ$  и  $\sim 70^\circ$  в угломестной плоскости. Скорость сканирования предложенной антенны позволяет ее использование для разработки систем для наземных и воздушных транспортных средств. Кроме того, спирально-щелевая антенна с синтезированием диаграммы направленности спроектирована для возможности получения изображений со сменой 25 кадров в секунду, что в сочетании с применением современных средств генерации и обработки широкополосных сигналов дает возможность проведения «видео» съемок движущихся объектов («микроволновых фильмов») в 4-миллиметровом диапазоне длин волн.

Автор считает данное направление весьма перспективным для построения антенных систем для радаров различного назначения. В отличие от известных ФАР данные антенны недороги в изготовлении и обеспечивают скорости сканирования достаточные для работы радарных систем в реальном времени при обеспечении широких секторов обзора, высокой энергетической эффективности и качестве диаграмм направленности.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Данная статья написана специально для юбилейного выпуска журнала «Прикладная радиоэлектроника», посвященного *95-летию*

**Я.С. Шифрина**, выдающегося специалиста в области антенной теории и техники. Авторы выражают искреннюю благодарность юбиляру за стимулирующий интерес к работам нового направления антенной техники и посвящает ему данную статью. Авторы признательны В. Скерсанову, М. Натарову, В. Гламаздину за расчеты двухмерной ленточной сканирующей антенны с синтезированием диаграммы направленности.

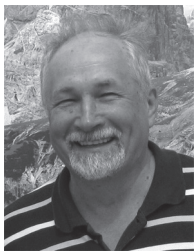
Часть работы была выполнена с поддержкой европейских проектов: FP-7 Project SCOUT, Grant 607019 и NATO Project № NUKR.SFPP 984809

### Литература

- [1] *Lukin K.A.*, FLAR Design. Technical Report. STCU Project P-050, 2001.
- [2] *Lukin K.A.*, A Novel Approach to Scanning Antenna Design, Proceedings 4-th Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques, Sevastopol, 2003, Vol. 11, pp.288–289.
- [3] *Lukin K.A.*, Synthetic Aperture Scanning Antennas. Proc. of the 5th European Conference on Synthetic Aperture Radar, EUSAR2004, Ulm Germany, May 25–27, 2004, V.2, p. 669–672.
- [4] *K.A. Lukin*, «Sliding Antennas for Noise Waveform SAR», Applied Radio Electronics, Vol. 4, No.1, pp. 103–106, April 2005.
- [5] *К.А. Лукин*, «Сканирующие антенны с синтезированием диаграммы направленности» Изв. Вуз. – Радиоэлектроника. 2010, Т.53. №4. – С. 58–64.
- [6] *К.А. Лукин*, «Scanning Synthetic Radiation Pattern Antennas. Radioelectronics and Communications Systems», Vol.53 (2010), pp. 219–224.
- [7] *К.А.Лукин, J.R.Moreira, V.N. Scresanov, V.V. Glamazdin*, 2D Tape Scanner Antenna for Microwave Holography. Proc.5-th Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques, ICATT'05. 2005. Vol. 2, pp. 250–253.
- [8] *К.А. Лукин*, «Noise Radar Technology», Telecommunications and Radio Engineering, 2001, Vol.55, No. 12, pp.8–16.
- [9] *К.А. Лукин*, «The principles of noise radar technology», Proc. of «The First Int. Workshop on NRT», NRTW-2002, Yalta, Crimea, Ukraine, pp.13–22.
- [10] *К.А. Лукин*, «Noise Radar Technology: the Principles and Short Overview», Applied Radio Electronics, Vol. 4, No. 1, pp. 4–13, 2005.
- [11] *К.А. Лукин*, «Millimeter wave noise radar applications: theory and experiment», Proc. of The Fourth Int. Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Millimeter and Sub-Millimeter Waves, 2001, pp.68–73.
- [12] *D. Tarchi, D. Leva, G. Nesti, A.J. Sieber, K. Lukin*, «Short range imaging applications using noise radar technology», Proc. of EUSAR 2000, pp. 361–364
- [13] *К.А. Лукин, et al.* «Ka-band Bistatic Ground-Based Noise Waveform SAR for Short-Range Applications», IET Proc. Radar Sonar & Navigation, Vol.2, pp. 233–243, August 2008.
- [14] *D. Tarchi, K. Lukin, J. Fortuny-Guach, et al.* SAR imaging with noise radar, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic systems, Vol.46 (2010), pp. 1214–1225.
- [15] *К.А. Лукин et al.* «2D and 3D imaging using S-band noise waveform SAR», Proc. of the 3rd Int. Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (AP-SAR-2011), pp. 1-4, 2011.

- [16] K. A. Lukin, Ground based noise-waveform-SAR for monitoring of Chernobyl sarcophagus. Proc. of IRS-2005. 2005. pp. 655–659.
- [17] K.A. Lukin, A.A. Mogila, P.L. Vyplavin, G. Galati, G. Pavan, “Novel concepts for surface movement radar design”. International Journal of Microwave and Wireless Technologies, Cambridge University Press, 2009, vol.1, pp. 163–169.
- [18] K.A.Lukin, V.V. Kudriashov, P.L. Vyplavin, V.P. Palamarchuk. Coherent imaging in the range-azimuth plane using a bistatic radiometer based on antennas with beam synthesizing. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Vol. 29, Iss. 7, July 2014.
- [19] K.A.Lukin, V.V. Kudriashov, P.L. Vyplavin, V.P. Palamarchuk and S.Lukin, “Coherent radiometric imaging using antennas with beam synthesizing”. International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 2015.

Поступила в редколлегию 16.03.2015



**Лукин Константин Александрович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом нелинейной динамики электронных систем Института радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины. Fellow IEEE, руководитель исследовательской группы «Шумовая радарная технология» научно-исследовательского агентства НАТО. Научные интересы: генерация динамического хаоса и хаотических сигналов, шумовая радарная технология и наземные РСА для дистанционного зондирования, антенны с синтезированием луча.



**Паламарчук Владимир Петрович**, главный инженер отдела нелинейной динамики электронных систем Института радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины. Научные интересы: микроволновые технологии.



**Юрченко Лидия Валерьевна**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела нелинейной динамики электронных систем Института радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины. Научные интересы: моделирование динамического хаоса в электронных системах, автогенерации широкополосных шумовых сигналов и ультракоротких импульсов.



**Заец Николай Кузьмич**, ведущий инженер-исследователь отдела нелинейной динамики электронных систем Института радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины. Научные интересы: автоматизация экспериментальных физических исследований, оптико-электронные приборы и системы, датчики физических величин, измерение перемещений в нанометровом диапазоне.

УДК 621.396.677.71, 621.396.677.73

**Антенны с синтезом диаграммы направленности** / К.О. Лукин, В.П. Паламарчук, Л.В. Юрченко, М.К. Заец // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журн. — 2015. — Том 14. — № 1. — С. 79–86.

Розвивається раніше запропонована концепція побудови приймально-передавальних скануючих антен нового типу — антен з синтезом діаграми спрямованості. У них використовується переміщення елемента антени уздовж її апертури в поєднанні з синтезом діаграми спрямованості. Переміщення випромінювача може бути або реальним, або віртуальним. Раніше були досліджені спірально-хвильовідно-щілинна і стрічково-щілинна скануючі антени з синтезуванням діаграми спрямованості і описано їх застосування в наземних шумових РСА для отримання радіозображень, в тому числі радіометричних. У даній роботі запропоновано і досліджено ще один варіант скануючої антени з синтезуванням діаграми спрямованості — спірально-щілинна антена. Вивчено основні характеристики такої антени та описано її модифікації. Крім того, описано антену такого типу, що запропонована раніше для здійснення тривимірного сканування. Стисло описано технічні рішення антен з віртуальним переміщенням випромінювача, що досягається за допомогою електронного або електромеханічного перемикачання стану випромінювача антенної решітки. Для реалізації другого варіанта запропоновано застосування МЕМС перемикачів.

*Ключові слова:* скануюча антена з синтезуванням діаграми спрямованості, антена решітка, щілинна антена, діаграми спрямованості, когерентне зображення, наземний шумовий РСА.

Л.: 11. Бібліогр.: 20 найм.

UDC 621.396.677.71, 621.396.677.73

**Antennas with pattern synthesizing** / K.A. Lukin, V.P. Palamarchuk, L.V. Yurchenko and N.K. Zaets // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. — 2015. — Vol. 14. — № 1. — P. 79–86.

The previously proposed concept for novel Tx/Rx scanning antennas with pattern synthesizing has been elaborated in the paper. These antennas use a combination of small radiator motion along its aperture with SAR signal processing for pattern synthesizing. The motion of the radiator can be either real or virtual. The previously studied spiral-slotted waveguide and the sliding-slot antennas with pattern synthesizing and their use in noisy terrestrial radio for SAR images, including radiometric ones have been described. In this paper we propose and investigate another option of a scanning antenna with pattern synthesizing — a spiral-slot scanning antenna. The main characteristics of that antenna and its modifications have been studied and described. Furthermore, the previously proposed scanning antenna of that type for three-dimensional scanning is presented as well. Technical solutions for the scanning antenna of that type using a virtually moving radiator is briefly described. The virtual motion of the antenna array radiator is achieved via electronic or electromechanical switching of the radiator's state. Application of MEMS switches is suggested for implementation of electromechanical switching.

*Keywords:* scanning antenna with pattern synthesizing, antenna array, slot antenna, antenna pattern, coherent image, ground-based noise SAR.

Fig.: 11. Ref.: 20 titles.