

АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА СПЕЦИАЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ ВЧ, ОВЧ И УВЧ ДИАПАЗОНОВ: ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ

А. Л. Бузов,

заместитель генерального директора ООО «Концерн «Автоматика» — начальник научно-технического центра радиосистем, д.т.н.; buzov@oao-avtomatika.ru



Ключевые слова: специальная радиосвязь, антенно-фидерные устройства и системы, математическое моделирование АФУ, аналитическое проектирование АФУ, активные антенны, антенные решетки, адаптивные АФУ.

Введение. Поводом для написания этой статьи стал 80-летний юбилей журнала «Электросвязь» и предоставленная в связи с этим автору как члену редакционной коллегии приятная возможность присоединиться к поздравлениям в адрес любимого журнала (что я с удовольствием делаю) и выступить с публикацией, отражающей сферу его научных интересов.

Еще одна причина появления этой публикации — потребность автора поделиться своим видением достижений, проблем и перспектив в области создания антенно-фидерных устройств (АФУ) и антенно-фидерных систем (АФС) для оборудования специальной радиосвязи на основе опыта коллектива исследователей и разработчиков, формальным и неформальным лидером которого автор является более четверти века. Этот коллектив, в котором трудятся уже не только ученики автора, но и ученики его учеников, является важной составной частью Са-

марской антенной школы. Коллектив формировался и долгие годы работал в Самарском отделении НИИ Радио (СОНИИР). В последнее время в силу ряда причин большая его часть перешла в НТЦ радиосистем ОАО «Концерн «Автоматика».

Кстати, в связи с юбилеем журнала «Электросвязь», автору приятно отметить, что его первая публикация в этом журнале состоялась более четверти века назад [1]. Статья была написана в соавторстве с легендарным Л. С. Казанским — ученым, с именем которого связано возникновение Самарской антенной школы, и посвящена вопросам исследования характеристик диаграммообразующих схем многоканальных АФУ специальной радиосвязи на основе кольцевых антенных решеток (КАР). Эта тематика, в каком-то смысле, не утратила актуальности до сих пор.

Особенности АФУ специальной радиосвязи. Напомню вкратце об особенностях специальной радиосвязи и вытекающих из этого особенностях АФУ и АФС.

Как известно, сети и системы специальной связи предназначены для нужд государственного управления, обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка. К ним предъявляются особые требования качества, надежности, долговечности, стойкости, живучести и т.п., причем все это должно обеспечиваться, как правило, на основе использования отечественных комплектующих изделий, материалов и технологий.

Все перечисленное в полной мере относится и к АФУ (АФС). Кроме того, имеются особенности, относящиеся конкретно к антенной технике спецсвязи:

- тактические параметры системы (сети) часто предъявляют особые требования к пространственным и поляризационным характеристикам АФУ

(специальные формы диаграмм направленности (ДН), многолучевость, адаптивное формирование провалов ДН в направлении помехи, формирование дополнительного излучения в зоны затенения, поляризационная адаптация, возможность организации режимов множественной передачи/приема с пространственным и/или поляризационным разнесением и т.п.);

- характер частотного плана для конкретной системы, особенности использования частот (ППРЧ и т.п.) и ряд других тактических моментов нередко приводят к повышенным требованиям к широкополосности АФУ и/или к скорости их оперативной перестройки;

- во многих случаях (не только для бортовых радиосредств подвижных объектов) возникает необходимость компактного размещения на одном объекте АФУ различных систем, сетей и диапазонов, вследствие чего существенно усложняются задачи обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС), тем более что требования радиоэлектронной защиты для оборудования спецсвязи обычно изначально весьма жестки;

- для определенной категории объектов предусматривается повышенная стойкость к специальным воздействиям, что, в свою очередь, предполагает применение особым образом защищенных антенн;

- в ряде случаев антенны должны маскироваться для недопущения раскрытия принадлежности объекта и/или с целью сохранения его экстерьера (архитектурного облика).

В последнее время просматриваются определенные тенденции в области развития систем и сетей специальной радиосвязи, которые во многом определяют характер требований к перспективным АФУ и АФС. В частности, следует отметить следующие обстоятельства:

- автоматизация комплексов технических средств специальной радиосвязи, расширение использования технологий автоматизированной адаптации требуют создания АФУ с повышенным быстродействием автоматизированного управления частотными, пространственными и поляризационными характеристиками;

- прогресс в области цифровых технологий и техники цифровой обработки информации позволяет все чаще применять цифровые методы формирования ДН антенн и создавать ДН специальной формы, практически не реализуемые традиционными методами;

- стремление к расширению номенклатуры услуг специальной радиосвязи требует повышения скорости передачи информации, широкополосности сигналов, а значит и широкополосности АФУ;

- все более широкое внедрение межвидовых систем и сетей специальной радиосвязи, в том числе с гибким использованием частотного ресурса и оперативной идентификацией пользователей, потребовало использования не только сверхширокополосных приемопередающих устройств, но и АФУ.

Базовые технологии разработки АФУ. Одной из важнейших методологических основ разработки АФУ и АФС, безусловно, является система методов анализа (математического моделирования) электродинамических систем [2—6].

Несмотря на наличие на рынке программной продукции универсальных (кстати, весьма дорогостоящих) программ, как правило, целесообразна разработка собственных эффективных расчетных методов и проблемно-ориентированных программных средств, поскольку их наличие создает удобную основу для успешного решения конкретных задач разработки и проектирования АФУ и АФС, в том числе с помощью методов параметрической оптимизации.

В практике создания АФУ и АФС диапазонов ВЧ–ОВЧ–УВЧ приходится моделировать (с учетом условий размещения) следующие основные классы электродинамических систем [6]:

- существенно тонкие линейные проводники, радиус которых не превышает 0,01 длины волны (излучающие системы проволочных антенн);

- линейные проводники, поперечные размеры которых достаточно велики — более 0,01 длины волны (элементы металлоконструкций опор);

- поверхностные рассеиватели произвольной незамкнутой формы

небольших электрических размеров (рефлекторы);

- поверхностные рассеиватели произвольной замкнутой формы небольших электрических размеров (корпуса устройств и т.п.);

- слабо искривленные весьма протяженные поверхностные рассеиватели (подстилающие и ограждающие поверхности, корпуса объектов установки и т.п.).

В рамках приведенной классификации разработана система методов моделирования сложных электродинамических систем (рис. 1), включающая известные и вновь разработанные методы (в том числе — комбинированные), обеспечивающая автовыбор метода (сочетания методов), соответствующего конкретной задаче и положенная в основу создания проблемно-ориентированных программных комплексов [7, 8].

Успешный опыт разработки АФУ и АФС специальной радиосвязи в последние годы подтвердил состоятельность и эффективность еще одной базовой технологии, положенной в основу этой статьи, а именно — технологии аналитического проектирования АФУ [9—12].

Для создания требуемой ДН при размещении антенн на нетиповых мачтах или новых, но с повышенными тактико-техническими характеристиками, предложено использовать подтвержденные теоретическими исследованиями и практической реализацией следующие нововведения:

- пассивные элементы (рефлекторы, директоры) различной конфигурации;

- импедансные структуры для предотвращения затеняющего действия металлоконструкций вблизи элементов антенны;

- нетиповые пространственные расположения излучателей в пространстве;

- элементы металлоконструкций монтажных комплексов для формирования необходимых параметров антенны;

- металлоконструкции участков опор в месте размещения АФУ (если невозможно или сложно предотвратить их затеняющее действие);

- оригинальные дополнительные антенные опоры, совмещающие некоторые из вышеприведенных функций для установки на верхних и промежуточных (по телу мачт и башен) площадках.

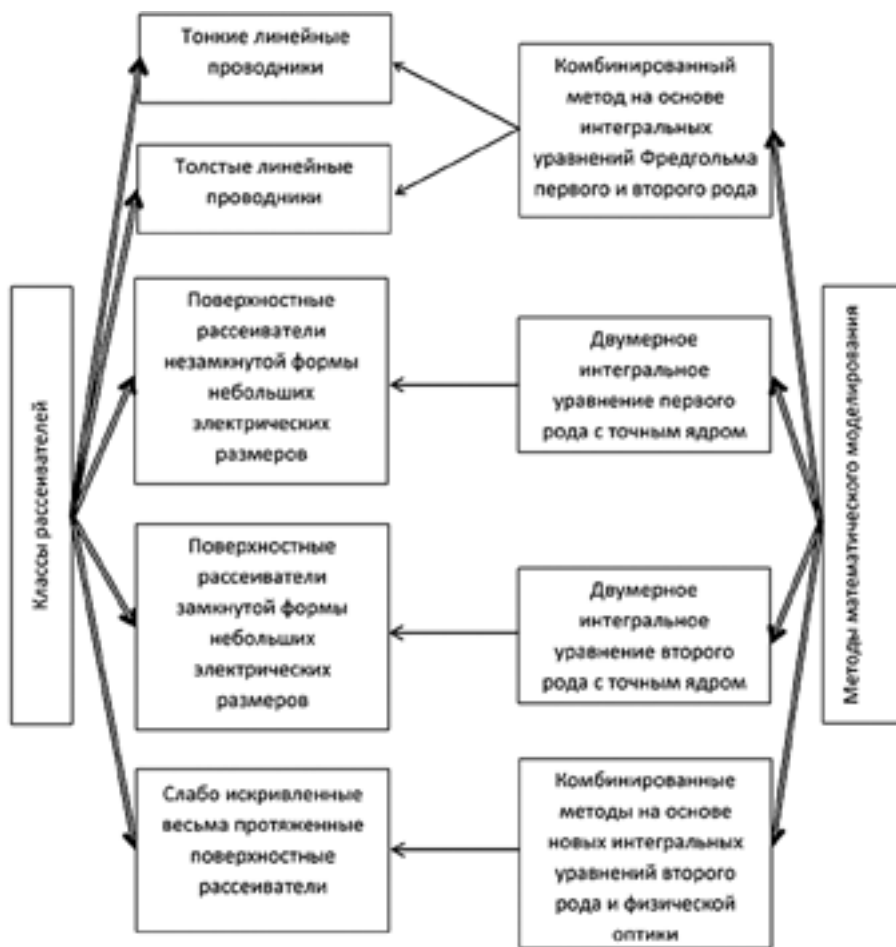


Рис. 1. Классификация электродинамических объектов и методов их моделирования

Таким образом, этап проектирования АФУ превращается из процесса простого размещения на специально выделенных местах стандартных антенн или их типовых излучателей в наукоемкий высокоинтеллектуальный процесс синтеза АФУ с заданными тактико-техническими требованиями на базе сложной многоэлементной системы, состоящей из: активных излучателей (выбираются), пассивных элементов (создаются), элементов монтажного комплекта (используются), элементов металлоконструкций участка опоры (приспосабливаются), элементов импедансных структур (применяются), дополнительных оригинальных опор (разрабатываются), существующих близкорасположенных АФУ (учитываются). Все эти действия производятся одновременно, в виде единого процесса аналитического проектирования АФУ с учетом конкретных требуемых параметров применительно к конкретному объекту его реализации.

Сегодня рассмотрены, изучены и внедрены в практику аспекты аналитического проектирования АФУ: внутренние (собственные технические и технологические) и внешние (объектовые технические, конструктивные, технологические и защита от электромагнитных полей). Методической основой аналитического проектирования АФУ (АФС) является комплекс методов расчета и программные средства.

Применение метода аналитического проектирования дает ряд преимуществ. В частности, максимально эффективно используются возможности размещения АФУ (АФС) на типовых и нетиповых опорах, удастся создать АФС, занимающие меньше места на опоре и обладающие при этом улучшенными тактико-техническими характеристиками [10–12].

Упомянем еще об одном факторе, казалось бы не имеющем прямого отношения к научным и техническим аспектам создания АФУ, но играющем особенно в последнее время существенную роль в обеспечении качества, эффективности и высоких технико-экономических показателей разработок. Речь идет о технологиях организации самого процесса создания новой техники.

Любой главный конструктор прекрасно знает насколько тесно связаны, взаимообусловлены и неразделимы в его деятельности функции научно-технического и административного руководства. Точно так же взаимосвязаны технологии проекти-



Рис. 2. Базовые варианты реализации антенны ДКМВ нового поколения

рования и формы организации бизнес-процессов. Внедрение инноваций в процессы создания антенных систем, успешное использование технологии аналитического проектирования, организация единого комплекса работ, включающего научно-исследовательские, опытно-конструкторские, проектно-изыскательские, строительно-монтажные и пусконаладочные работы, а также сопровождение изделий на протяжении всего жизненного цикла требуют адекватного указанным задачам реинжиниринга деловых процессов предприятия [13].

АФУ диапазона ВЧ. Основная тенденция современного развития в области ДКМВ радиосвязи связана с отказом от «гигантомании» [14]. Стремление улучшить качественные показатели ДКМВ каналов связи привело к широкому использованию автоматизированной адаптации и автоматизированной настройки оборудования (включая АФУ). При этом появилась возможность снизить мощности передатчиков, уменьшить энергопотребление, улучшить массогабаритные показатели. Одновременно возникла потребность в малогабаритных антеннах, которые должны быть достаточно универсальными с точки зрения обслуживания одной антенной большого числа азимутальных и угломестных направлений и достаточно эффективными, несмотря на уменьшение электрических размеров.

У крупная классификация базовых вариантов реализации малогабаритных универсальных ДКМВ антенн нового поколения [14] приведена на рис. 2. В частности, перспективным вариантом являются малогабаритные приземные (в определенных случаях и подземные) излучатели на осно-

ве скрещенных вибраторов, а также антенные решетки на их основе. При этом достаточно просто реализуется возможность оперативного управления видом поляризации излучаемых (принимаемых) волн в сочетании (при необходимости) с автоматизированной поляризационной адаптацией.

Одним из наиболее перспективных вариантов реализации нового поколения приемных АФС, способным конкурировать с традиционными приемными антеннами типа БФ, являются активные кольцевые антенные решетки (АКАР) [15, 16] на основе линейных, биортогональных и триортогональных активных элементов [17].

Подобная АКАР (рис. 3), размещаемая на относительно небольшой площадке, способна заменить антенную систему, включающую несколько ориентированных по различным азимутам антенн БФ и антенну зенитного излучения. Она обеспечивает покрытие всего ДКМВ диапазона без перестроек и переключений, одновременный прием с нескольких азимутальных направлений при возможности коммутации любого из имеющихся радиоприемных устройств (РПУ) или групп РПУ для приема с любого из свободных азимутальных направлений, выбор любого из пяти видов поляризации принимаемых волн (горизонтальная 1, горизонтальная 2 (ортогональная предыдущей), вертикальная, левая эллиптическая, правая эллиптическая) с независимым управлением для каждого РПУ (группы РПУ).

В состав триортогонального антенного элемента (ТАЭ) входят три взаимно перпендикулярных вибратора (два горизонтальных и вертикальный) и три маломощных антенных усилителя (по одному усилителю в тракте

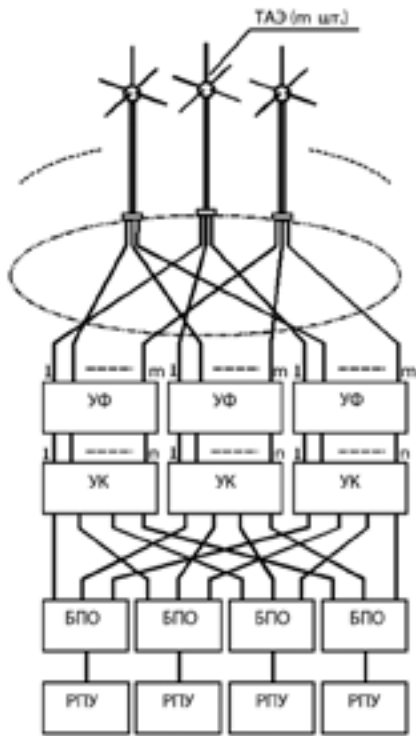


Рис. 3. Приемная активная кольцевая антенная решетка на основе триортogonalных элементов

каждого из вибраторов). Устройство фазирования (УФ) представляет собой аналог линзы Максвелла, реализованный на отрезках искусственных линий в виде LC-сетки. Устройства коммутации (УК) осуществляют коммутацию РПУ на азимутальные направления. Блоки поляризационной обработки (БПО) производят поляризационную обработку принимаемых сигналов

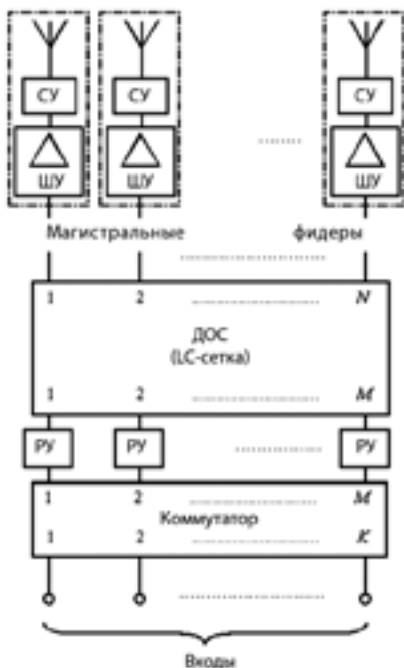


Рис. 4. Передающая активная кольцевая антенная решетка

независимо для каждого РПУ (группы РПУ). При использовании РПУ с функцией множественного (в данном случае — строенного) приема сигналы с выходов УК должны подаваться на входы РПУ в обход БПО.

Передающие КАР [18—20] могут строиться аналогичным образом (рис. 4) с использованием согласующих устройств (СУ) и широкополосных усилителей (ШУ) в составе антенных модулей и развязывающих устройств (РУ) на входах диаграммообразующего устройства (ДОС). Главной проблемой здесь остается обеспечение широкополосности при безусловном выполнении действующих требований к внеполосным излучениям, что, в свою очередь, предъявляет высокие требования к линейности характеристик ШУ.

Весьма перспективным представляется вариант, основанный на цифровых методах формирования пространственных и поляризационных характеристик КАР [19]. В этом случае (рис. 5) появляется возможность применить вместо одного мощного радиопередатчика группу передатчиков средней мощности, а обеспечение когерентности сигналов, возбуждающих излучатели КАР, и формирование необходимых амплитудно-фазовых распределений реализовать методами прямого цифрового синтеза сигналов (DDS). С учетом реализуемой широкополосности излучателей для работы комплекса в достаточно широкой полосе частот используются две КАР — верхних частот (ВЧ КАР) и нижних (НЧ КАР).

Для оперативного управления поляризационной характеристикой применяются биортогональные излучатели. Когерентность сигналов обеспечивается за счет общей цифровой синхронизации всех возбуждателей. Антенные переключатели (АП) позволяют подключать выходы усилителей мощности (УМ) к соответствующим излучателям ВЧ КАР или НЧ КАР в зависимости от рабочей частоты передачи. Управляющая ЭВМ (УЭВМ) обеспечивает автоматизированное управление всеми функциями комплекса.

Особое место в области АФУ специальной радиосвязи ВЧ диапазона занимают защищенные (подземные) АФУ, входящие в состав комплексов технических средств постоянной готовности [21—23].

В настоящее время передающие защищенные антенны, в том числе последнего поколения, достаточно эффективны и гарантируют необходимую стойкость, однако не обеспечивают необходимой для автоматизированной адаптации оперативности перестройки, поскольку входящие в их состав устройства согласования и фазирования построены на основе элементов с относительно медленной ручной механической или автоматизированной электромеханической перестройкой. Перспективным с точки зрения существенного повышения скорости перестройки представляется использование в тракте АФУ быстро перестраиваемых управляемых направленных ответвителей (УНО).

Структура защищенного АФУ с УНО показана на рис. 6. Излучаю-

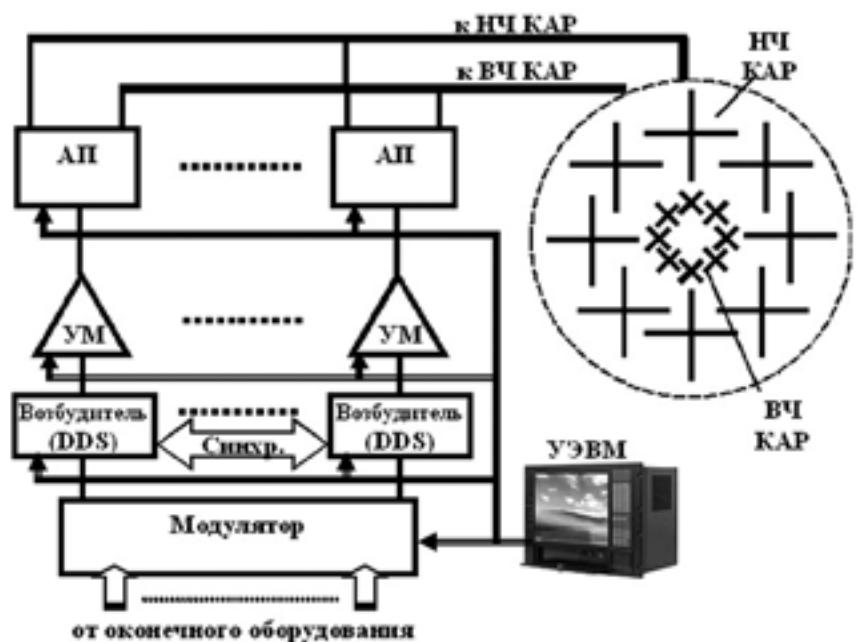


Рис. 5. АФУ на основе двухкольцевой решетки с цифровым формированием характеристик

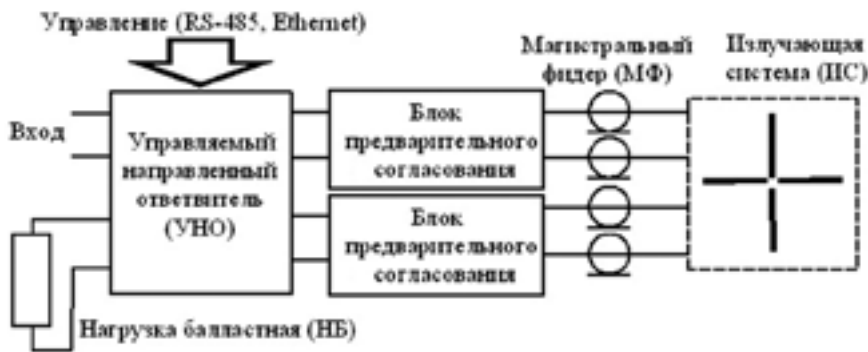


Рис. 6. Структура защищенного АФУ

шая система АФУ (ИС) представляет собой турникетный излучатель на основе симметричных широкополосных вибраторов, размещенный заглубленно в монолитном неразборном укрытии из асфальтобетона [21]. Блок предварительного согласования (БПС) представляет собой не перестраиваемое согласующее устройство с реактивными и диссипативными элементами, обеспечивающее предварительное согласование естественного импеданса ИС. УНО представляет собой трехдецибелное квадратное мостовое устройство на дискретно перестраиваемых переменных конденсаторах и катушках индуктивности. Настройка УНО на заданную рабочую частоту обеспечивается подключением необходимого набора емкостных или индуктивных элементов из соответствующих бинарных линеек в каждой ветви устройства с помощью быстродействующих вакуумных реле. Аналогичным образом с помощью вакуумных реле выполняется коммутация трактов для управления направлением вращения плоскости поляризации излучаемых волн.

При этом на рабочей частоте обеспечивается:

- равноамплитудное квадратурное питание вибраторов ИС с целью формирования круговой поляризации с правым или левым направлением вращения;
- согласование с передатчиком за счет квадратурности УНО (эхокомпенсация) с поглощением отраженной мощности в балластной нагрузке (НБ), что делает излишним дополнительное согласующее устройство.

Управление настройкой АФУ на заданную частоту осуществляется от общей управляющей электронно-вычислительной машины (УЭВМ) комплекса технических средств автоматизированной адаптивной радиосвязи по интерфейсу RS-485 или Ethernet. При этом одновременно с командой на установку заранее подготовленной рабочей частоты передатчика подаются

соответствующие команды управления настройкой УНО. На основе подобных решений в перспективе могут создаваться сложные защищенные АФС, содержащие линейные решетки подземных ИС [23].

АФУ диапазонов ОВЧ и УВЧ. В последние годы наиболее распространенным решением АФУ (АФС) для городских и вынесенных (линейных) радиочастот специальной подвиж-

ной радиосвязи является многоканальное АФУ, реализующее технологию схемно-пространственного сложения (мультиплексии) — СПМ [24—27] и обеспечивающее тем самым не только формирование требуемых ДН, но и сложение некогерентных сигналов от нескольких единиц до нескольких десятков одновременно работающих радиоканалов.

Технология СПМ (рис. 7) предполагает использование КАР, возбуждаемой специальной диаграммообразующей схемой (ДОС), имеющей M входов (по числу объединяемых приемопередатчиков) и N выходов (по числу входов решетки, т.е. излучателей в этаже). Входы ДОС развязаны, что обеспечивает одновременную независимую работу M приемопередатчиков. Кроме того, на рис. 7 показаны вентили (В), дуплексный антенный разделитель (ДАР) и антенный усилитель-разветвитель (АУР).

Сигналы передатчиков проходят через вентили на входы ДОС, распре-

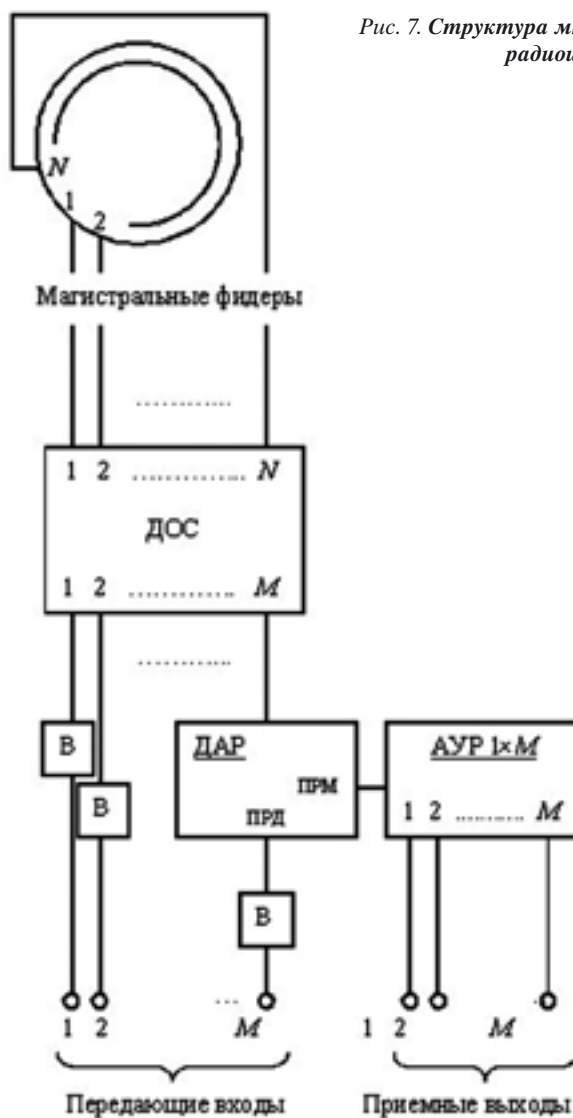


Рис. 7. Структура многоканального АФУ радиочастотного центра

деляются между выходами ДОС, затем поступают на входы КАР и излучаются. Каждый передатчик использует свой вход ДОС, с которого формируются определенное амплитудно-фазовое распределение и соответствующая ДН. В большинстве случаев формируемые ДН являются квазикруговыми в горизонтальной плоскости с неравномерностью, не выходящей за заданные пределы. ДАР осуществляет дуплексное разделение передающих и приемных трактов.

Построить КАР можно с тангенциальной либо нормальной ориентацией излучателей. С тангенциальной были выполнены отдельные разработки на основе четырехходовых КАР, в большинстве же разработок использована нормальная ориентация при числе излучателей в этаже от 4 до 96. ДОС также может быть выполнена различным образом.

Существовали отдельные разработки с ДОС в виде LC-сетки, однако в большинстве случаев ДОС реализовывались в виде матриц Батлера на основе развязанных мостовых устройств. Именно по такому принципу были построены АФУ, входящие в уникальный комплекс АФУ модернизированной системы президентской подвижной радиосвязи на Останкинской телебашне, удостоенной Государственной премии им. Маршала Советского Союза Г.К. Жукова, АФУ городских радиоцентров на уникальных объектах Москвы и Санкт-Петербурга, АФУ линейных объектов и мн. др. Помимо АФУ с круговыми ДН, создавались АФУ с секторными ДН в горизонтальной плоскости, в том числе — оперативно переключаемыми.

Следующим ближайшим этапом развития этого направления должно стать создание (в том числе в составе технических средств вновь создаваемых сетей) адаптивных АФУ СПМ с автоматическим сопровождением абонентов по азимуту (smart-АФУ).

Как уже отмечалось выше, для ряда вновь разрабатываемых систем и средств специальной радиосвязи МВ-ДМВ диапазонов понадобились сверхширокополосные АФУ (с перекрытием до двух и более октав). Одним из путей реализации таких АФУ на основе КАР СПМ (в связи с принципиальными ограничениями широкополосности КАР фиксированной геометрии) является разбиение рабочего диапазона на два (или более) поддиапазона с реализацией отдельной КАР (подрешетки) в каждом поддиапазоне и объединением подрешеток с помощью частотно-разделительных устройств [28].

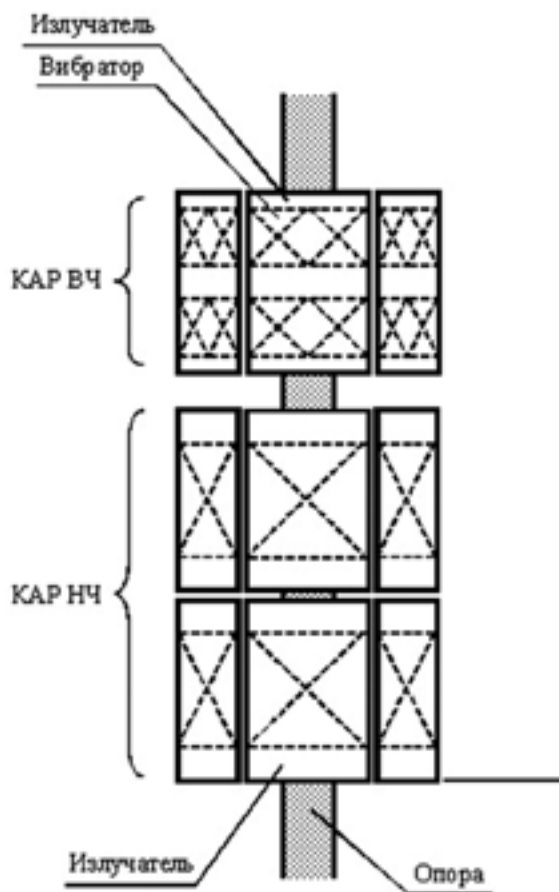


Рис. 8. Сверхширокополосная АСФ с разнесенными КАР на основе широкополосных панельных излучателей

При этом в зависимости от конкретных требований, типа применяемых излучателей, ограничений по условиям размещения и т.д. подрешетки могут быть разнесены на разные вы-

сотные отметки опоры (рис. 8) или совмещены на одной (рис. 9).

Несколько слов об АФУ абонентских станций специальной подвижной радиосвязи. Эти АФУ размеща-

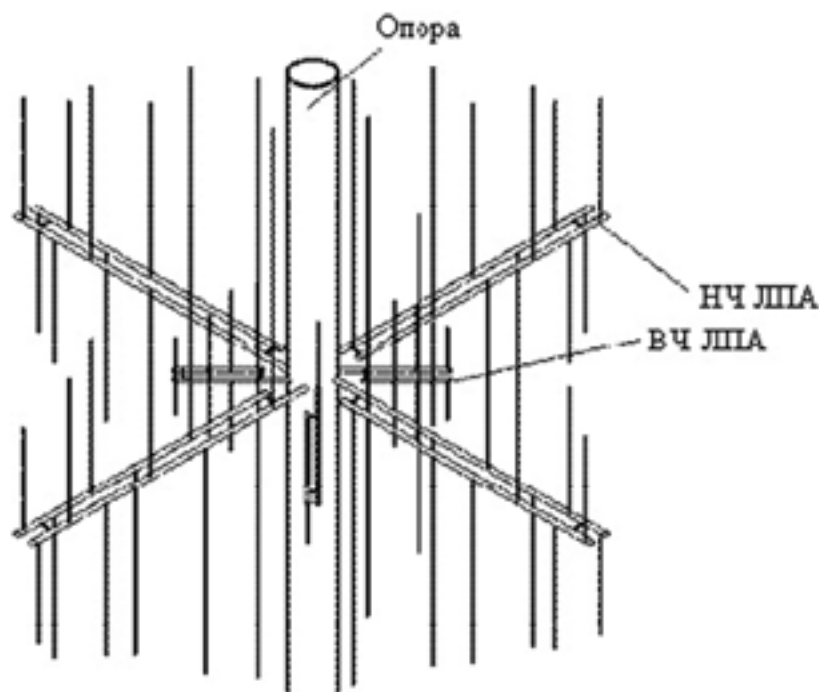


Рис. 9. Сверхширокополосная АСФ с совмещенными КАР на основе логопериодических антенн

ются на различных объектах (автомобилях, вертолетах, железнодорожных вагонах, маломерных судах, бронетехнике и т.д.) и в большинстве случаев к ним предъявляются достаточно жесткие противоречивые требования (высокая эффективность, стойкость, малозаметность, эстетичность и т.п.). Одним из перспективных и во многом уже реализованных направлений является использование низкопрофильных антенн различного типа [29]. Кроме того, необходимы и в самой ближайшей перспективе будут созданы адаптивные (smart) АФУ для подвижных объектов, обеспечивающие постоянную ориентацию секторной ДН на радиоцентр.

Чрезвычайный интерес представляют вопросы создания АФУ специальной радиосвязи для размещения на новых типах объектов (беспилотные летательные аппараты, высокоскоростные поезда и др.), однако это — тема отдельной публикации.

Заключение. Накопленный опыт и оценка ближайших перспектив в области создания АФУ и АФС специальной радиосвязи показывают, что указанное направление в отечественной науке и технике продолжает существовать и развиваться, причем в отличие от ряда других направлений в телекоммуникациях преимущественно на отечественной интеллектуальной и производственно-технологической базе. При этом можно констатировать отсутствие существенного отставания наших решений от зарубежных аналогов. Все это вселяет надежду, что отставание, наблюдаемое во многих других областях, может и должно быть преодолено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бузов А.Л., Казанский Л.С. Анализ потерь в LC-сетке // Электросвязь.— 1987.— № 3.— С. 42—44.
2. Бузов А.Л. Современные тенденции развития вычислительной электродинамики применительно к задачам анализа проволочных антенн: Обзор // Электродинамика и техника СВЧ, КВЧ и оптических частот.— 2003.— № 1 (37).— С. 25—33.
3. Бузова М.А. Метод электродинамического анализа сложных металлических объектов на основе уравнений Фредгольма 1-го и 2-го рода и векторного интегрального уравнения с поверхностным интегралом // Антенны.— 2007.— № 10 (125).— С. 4—8.
4. Бузова М.А. Интегральное уравнение второго рода и приближение Гюйгенса-Кирхгоффа в задачах о рассеянии электромагнитного поля на протяженных идеально проводящих рассеивателях // Доклады академии наук.— 2010.— Т. 431.— № 4.— С. 471—474.
5. Бузова М.А. Электродинамический анализ поверхностных рассеивателей конечной толщины с помощью интегрального уравнения второго рода относительно эквивалентного тока // Физика волновых процессов и радиотехнические системы.— 2011.— Т. 14.— № 4.— С. 68—76.
6. Бузова М.А., Букашкин С.А., Минкин М.А. Построение системы комбинированных методов математического моделирования сложных электродинамических систем // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия.— 2013.— № 3 (104).— С. 67—74.
7. Программный комплекс SAMANT: Свидетельство о государственной регистрации № 2013614026 от 23.04.2013.
8. Программный комплекс SCATER: Свидетельство о государственной регистрации № 2013614027 от 23.04.2013.
9. Носов Н.А. Аналитическое проектирование антенно-фидерных устройств // Антенны.— 2004.— № 3 (82).— С. 70—75.
10. Бузов А.Л., Красильников А.Д., Носов Н.А., Юдин В.В. Реализация принципов аналитического проектирования при создании различных по техническим параметрам антенных систем из единого конструктивного комплекта // Вестник СОНИИР.— 2007.— № 3 (17).— С. 38—43.
11. Носов Н.А. Аналитическое проектирование антенных систем горизонтальной поляризации в местах затенения горизонтальными конструкциями с использованием импедансных структур // Радиотехника.— 2008.— № 3.— С. 92—95.
12. Носов Н.А., Бондарь Е.В., Бондарь И.В. Проектирование антенных решеток для размещения на существующих опорах // Электросвязь.— 2011.— № 8.— С. 34—37.
13. Бузова Е.А. Вопросы реинжиниринга бизнес-процессов по созданию антенно-фидерных систем в научно-исследовательском предприятии // Радиотехника.— 2012.— № 6.— С. 78—81.
14. Бузов А.Л. Современные тенденции развития антенной техники ДКМВ радиосвязи // Антенны.— 2007.— № 10 (125).— С. 44—50.
15. Красильников А.Д. Результаты исследования частотных свойств и взаимного влияния активных антенн ВЧ диапазона // Антенны.— 2006.— № 10 (113).— С. 63—68.
16. Капишев А.Н., Красильников А.Д., Невский А.В. Разработка комплекса активных приемных ДКМВ антенн с управляемыми пространственными и поляризационными характеристиками // Антенны.— 2012.— № 6.— С. 57—63.
17. Капишев А.Н., Красильников А.Д., Невский А.В. Теоретические и экспериментальные исследования активно-триортогонального антенного модуля // Вестник СОНИИР.— 2007.— № 4 (18).— С. 67—72.
18. Красильников А.Д. Построение активных передающих антенн и активных фазированных антенных решеток ВЧ-диапазона // Антенны.— 2007.— № 10 (125).— С. 32—35.
19. Барабошин А.Ю., Бузов А.Л., Минкин М.А., Юдин В.В. Передающий комплекс ДКМВ диапазона на основе кольцевой антенной решетки с цифровым формированием диаграмм направленности // Антенны.— 2012.— № 6.— С. 11—15.
20. Бузов А.Л., Кольчугин И.Ю. Построение передающих антенных решеток ДКМВ-диапазона // Электросвязь.— 2012.— № 12.— С. 49—52.
21. Бузов А.Л., Бузова М.А., Васин А.В. и др. Разработка и реализация защищенных антенно-фидерных устройств постоянной готовности диапазона ВЧ // Вестник СОНИИР.— 2006.— № 4 (14).— С. 50—55.
22. Кольчугин Ю.И. Электродинамические методы расчета характеристик подземных антенн // Антенны.— 2007.— № 10 (125).— С. 22—27.
23. Бузов А.Л., Кольчугин Ю.И., Сподобаев М.Ю. Методы расчета подземных антенных решеток ДКМВ диапазона // Антенны.— 2012.— № 6.— С. 32—37.
24. Бузов А.Л. УКВ антенны для радиосвязи, радиовещания и телевидения.— М.: Радио и связь, 1997.— 293 с.
25. Многоходовые антенные системы подвижной радиосвязи на основе схемно-пространственной мультиплекции / А.Л. Бузов, Л.С. Казанский, М.А. Минкин и др.; Под ред. А.Л. Бузова.— М.: Радио и связь, 2000.— 181 с.
26. Бузов А.Л. Антенные решетки схемно-пространственной мультиплекции как альтернатива секторным антеннам сотовой подвижной радиосвязи // Антенны.— 2003.— № 9 (76).— С. 8—13.
27. Бузов А.Л., Красильников А.Д., Минкин М.А., Юдин В.В. Одновходовые и многоходовые передающие и приемно-передающие антенны МВ и ДМВ диапазонов // Антенны.— 2012.— № 6.— С. 38—46.
28. Бузов А.Л., Колояров И.А., Юдин В.В. Широкополосные всенаправленные антенные решетки для радиосвязи с фильтровым разделением подрешеток // Электросвязь.— 2012.— № 12.— С. 36—40.
29. Капишев А.Н., Колояров И.А., Красильников А.Д. Варианты построения низкопрофильных антенн метрового и дециметрового диапазонов // Антенны.— 2010.— № 4 (155).— С. 21—25.

Получено 04.10.13