Базовые станции сотовой связи и их антенная часть

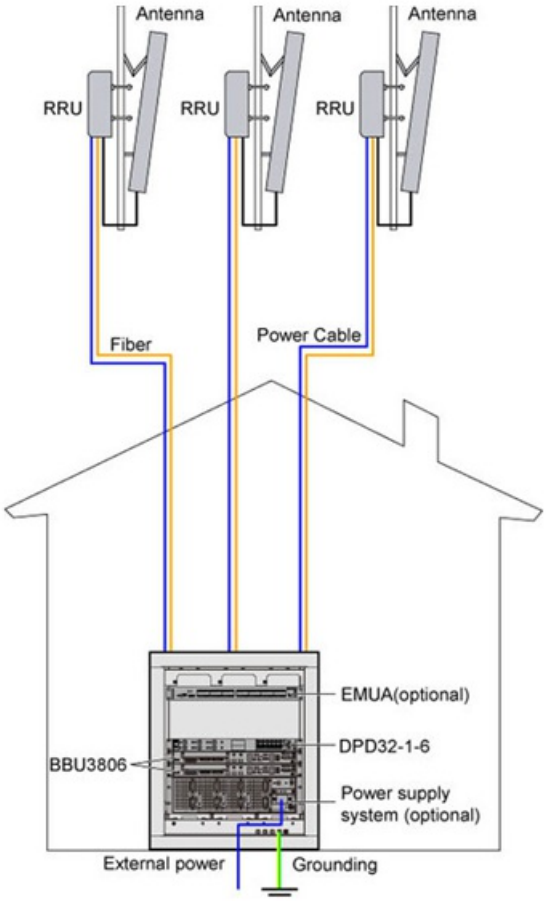
И вновь немного общеобразовательного материала. На этот раз речь пойдет о базовых станциях. Рассмотрим различные технические моменты по их размещению, конструкции и дальности действия, а также заглянем внутрь самого антенного блока.

Базовые станции. Общие сведения

Так выглядят антенны сотовой связи, установленные на крышах зданий. Эти антенны являются элементом базовой станции (БС), а конкретно – устройством для приема и передачи радиосигнала от одного абонента к другому, и далее через усилитель к контроллеру базовой станции и другим устройствам. Являясь наиболее заметной частью БС, они устанавливаются на антенных мачтах, крышах жилых и производственных зданий и даже дымовых трубах. Сегодня можно встретить и более экзотические варианты их установки, в России их уже устанавливают на столбах освещения, а в Египте их даже "маскируют" под пальмы.

Подключение базовой станции к сети оператора связи может производиться по радиорелейной связи, поэтому рядом с "прямоугольными" антеннами блоками БС можно увидеть радиорелейную тарелку:

С переходом на более современные стандарты четвертого и пятого поколений, для удовлетворения их требований подключать станции нужно будет исключительно по волоконной оптике. В современных конструкциях БС оптоволокно становится неотъемлемой средой передачи информации даже между узлами и блоками самой БС. К примеру, на рисунке ниже показано устройство современной базовой станции, где оптоволоконный кабель используется для передачи данных от RRU (выносные управляемые модули) антенны до самой базовой станции (показано оранжевой линией).



Оборудование базовой станции располагается в нежилых помещениях здания, либо устанавливается

в специализированные контейнеры (закрепленные на стенах или столбах), ведь современное оборудования выполняется довольно компактно и может запросто поместиться в системный блок серверного компьютера. Часто радиомодуль устанавливают рядом с антенным блоком, это позволяет уменьшить потери и рассеивание передаваемой в антенну мощности. Так выглядят три установленных радиомодуля оборудования базовой станции Flexi Multiradio, закрепленные прямо на мачте:

Зона обслуживания базовых станций

Для начала следует отметить, что бывают различные типы базовых станций: макро, микро, пико и фемтосоты. Начнем с малого. И, если кратко, то фемтосота не является базовой станцией. Это, скорее, Access Point (точка доступа). Данное оборудование изначально ориентируется на домашнего или офисного пользователя и владельцем такого оборудования является частное или юр. лицо, не относящееся к оператору. Главное отличие такого оборудования заключается в том, что оно имеет полностью автоматическую конфигурацию, начиная от оценки радиопараметров и заканчивая подключением к сети оператора. Фемтосота имеет габариты домашнего роутера:

Пикосота – это БС малой мощности, принадлежащая оператору и использующая в качестве транспортной сети IP/Ethernet. Обычно устанавливается в местах возможной локальной концентрации пользователей. Устройство по размерам сравнимо с небольшим ноутбуком:

Микросота – это приближенный вариант реализации базовой станции в компактном виде, очень распространено в сетях операторов. От "большой" базовой станции ее отличает урезанная емкость поддерживаемых абонентом и меньшая излучающая мощность. Масса, как правило, до 50 кг и радиус радиопокрытия - до 5 км. Такое решение используется там, где не нужны высокие емкости и мощности сети, или нет возможности установить большую станцию:

И наконец, макросота – стандартная базовая станция, на базе которой строятся мобильные сети. Она характеризуется мощностями порядка 50 W и радиусом покрытия до 100 км (в пределе). Масса стойки может достигать 300 кг.

Зона покрытия каждой БС зависит от высоты подвеса антенной секции, от рельефа местности и количества препятствий на пути до абонента. При установке базовой станции далеко не всегда на первый план выносится радиус покрытия. По мере роста абонентской базы может не хватить максимальной пропускной способности БС, в этом случае на экране телефона появляется сообщение "сеть занята". Тогда оператор со временем на этой территории может сознательно уменьшить радиус действия базовой станции и установить несколько дополнительных станций в местах наибольшей нагрузки.

Когда нужно увеличить емкость сети и снизить нагрузку на отдельные базовые станции, тогда и приходят на помощь микросоты. В условиях мегаполиса зона радиопокрытия одной микросоты может составлять всего 500 метров.

В условиях города, как ни странно, встречаются такие места, где оператору нужно локально подключить участок с большим количеством трафика (районы станций метро, крупные центральные улицы и др.). В этом случае применяются маломощные микросоты и пикосоты, антенные блоки которых можно располагать на низких зданиях и на столбах уличного освещения. Когда возникает вопрос организации качественного радиопокрытия внутри закрытых зданий (торговые и бизнес центры, гипермаркеты и др.) тогда на помощь приходят пикосотовые базовые станции.

За пределами городов на первый план выходит дальность работы отдельных базовых станций, так установка каждой базовой станции в удалении от города становится все более дорогостоящим предприятием в связи с необходимостью построения линий электропередач, дорог и вышек в

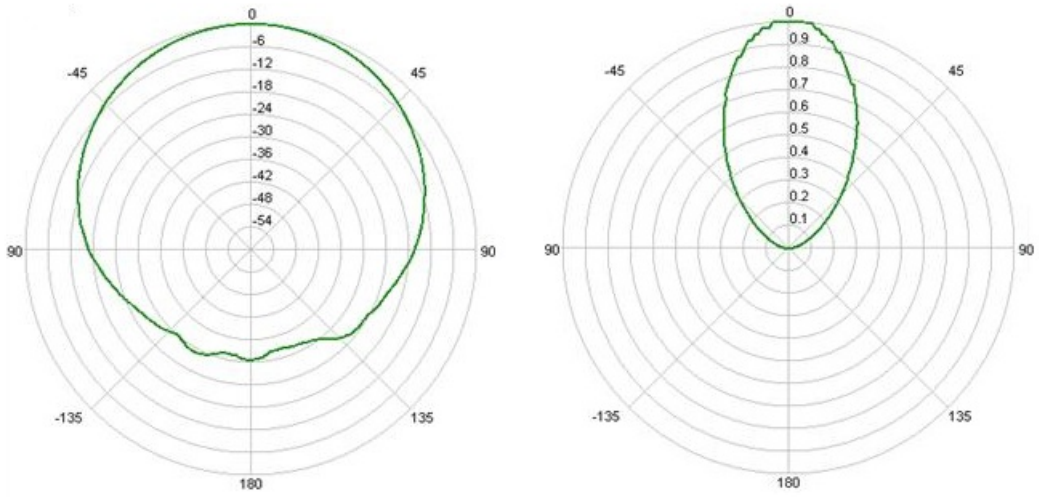
сложных климатических и технологических условиях. Для увеличения зоны покрытия желательно устанавливать БС на более высоких мачтах, использовать направленные секторные излучатели, и более низкие частоты, менее подверженные затуханию.

Так, например, в диапазоне 1800 МГц дальность действия БС не превышает 6-7 километров, а в случае использования 900–мегагерцового диапазона зона покрытия может достигать 32 километров, при прочих равных условиях.

Антенны базовых станций. Заглянем внутрь

В сотовой связи чаще всего используют секторные панельные антенны, которые имеют диаграмму направленности шириной в 120, 90, 60 и 30 градусов. Соответственно для организации связи во всех направлениях (от 0 до 360) может потребоваться 3 (ширина ДН 120 градусов) либо 6 (ширина ДН 60 градусов) антенных блоков. Пример организации равномерного покрытия во всех направлениях показан на рисунке ниже:

А ниже вид типовых диаграмм направленности в логарифмическом масштабе.



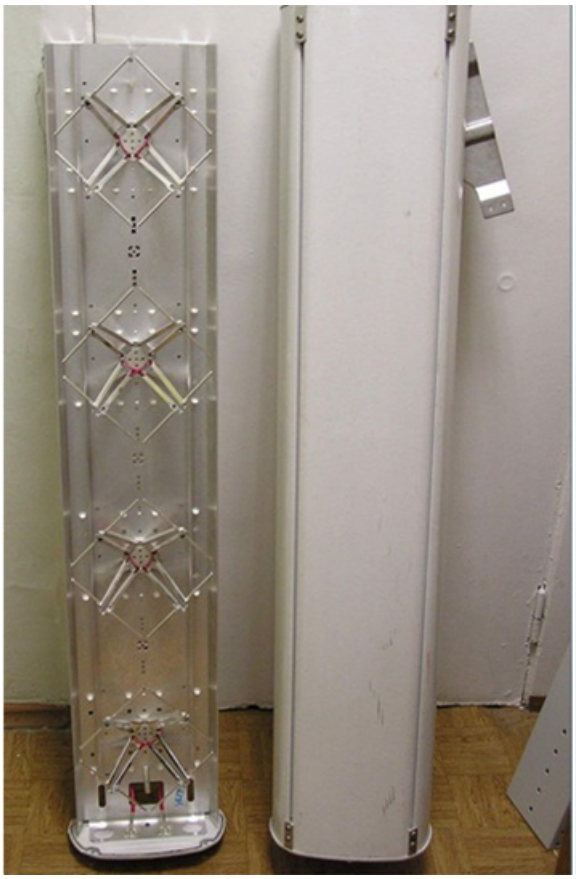
Большинство антенн базовых станций широкополосные, позволяющие работать в одном, двух или трех диапазонах частот. Начиная с сетей UMTS, в отличие от GSM, антенны базовых станций умеют изменять площадь радиопокрытия в зависимости от нагрузки на сеть. Один из самых эффективных методов управления излучаемой мощностью – это управление углом наклона антенны, таким способом изменяется площадь облучения диаграммы направленности.

Антенны могут иметь фиксированный угол наклона, либо имеют возможность дистанционной регулировки с помощью специального программного обеспечения, располагаемого в блоке управления БС, и встроенных фазовращателей. Существуют также решения, позволяющие изменять зону обслуживания, от общей системы управления сети передачи данных. Таким образом, можно регулировать зону обслуживания всего сектора базовой станции.

В антеннах базовых станций применяется как механическое управление диаграммой, так и электрическое. Механическое управление проще реализуется, но часто приводит к искажению формы диаграммы направленности из-за влияния конструктивных частей. Большинство антенн БС имеет систему электрической регулировки угла наклона.

Современный антенный блок представляет собой группу излучающих элементов антенной решетки. Расстояние между элементами решетки выбирается таким образом, чтобы получить наименьший уровень боковых лепестков диаграммы направленности. Наиболее часто встречаются длины панельных антенн от 0,7 до 2,6 метров (для многодиапазонных антенных панелей). Коэффициент усиления варьируется от 12 до 20 dBi.

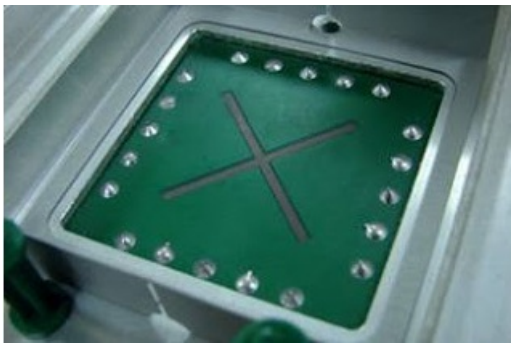
На рисунке ниже (слева) представлена конструкция одной из наиболее распространенных (но уже устаревающих) антенных панелей.



Здесь излучатели антенной панели представляют собой полуволновые симметричные электрические вибраторы над проводящим экраном, расположенные под углом 45 градусов. Такая конструкция позволяет формировать диаграмму с шириной главного лепестка 65 или 90 градусов. В такой конструкции выпускаются двух- и даже трехдиапазонные антенные блоки (правда, довольно крупногабаритные). Например, трехдиапазонная антенная панель такой конструкции (900, 1800, 2100 МГц) отличается от однодиапазонной, примерно в два раза большим размером и массой, что, конечно же, затрудняет ее обслуживание.

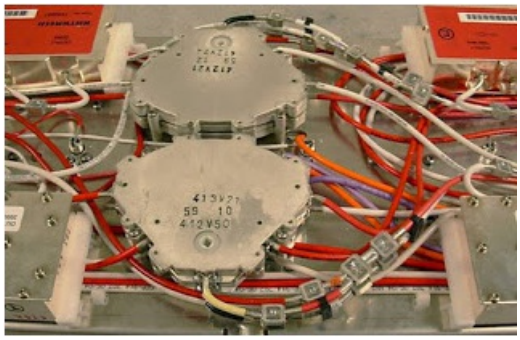
Альтернативная технология изготовления таких антенн предполагает выполнение полосковых антенных излучателей (металлические пластины квадратной формы), на рисунке выше справа.

А вот еще один вариант, когда в качестве излучателя используются полуволновые щелевые магнитные вибраторы. Линия питания, щели и экран выполняются на одной печатной плате с двухсторонним фольгированным стеклотекстолитом:



С учетом современных реалий развития беспроводных технологий, базовые станции должны поддерживать работу 2G, 3G и LTE сетей. И если блоки управления базовых станций сетей разных поколений удается вместить в один коммутационный шкаф без увеличения габаритного размера, то с антенной частью возникают значительные трудности.

Например, в многодиапазонных антенных панелях количество коаксиальных соединительных линий достигает 100 метров! Столь значительная длина кабеля и количество паяных соединений неизбежно приводит к потерям в линиях и снижению коэффициента усиления:

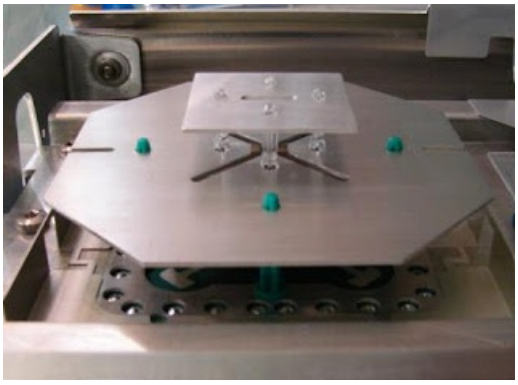


С целью снижения электрических потерь и уменьшения точек пайки часто делают микрополосковые линии, это позволяет выполнить диполи и систему запитки всей антенны по единой печатной технологии. Данная технологиях проста в производстве и обеспечивает высокую повторяемость характеристик антенны при ее серийном выпуске.

Многодиапазонные антенны

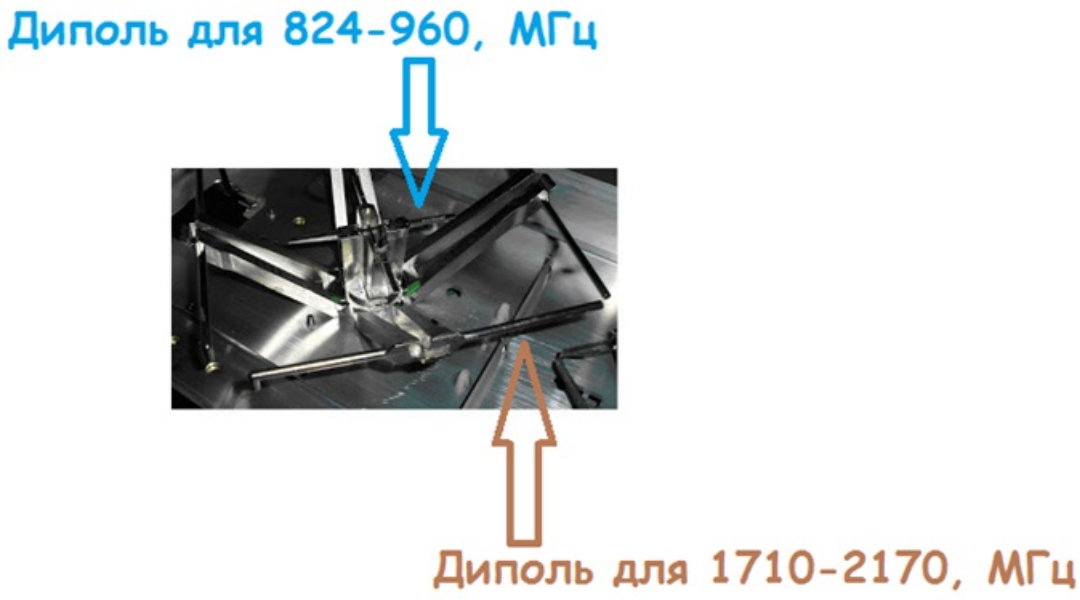
С развитием сетей связи третьего и четвертого поколений требуется модернизация антенной части как базовых станций, так и сотовых телефонов. Антенны должны работать в новых дополнительных диапазонах, превышающих 2.2 ГГц. Более того, работа в двух и даже трех диапазонах должна производиться одновременно. Вследствие этого антенная часть включает в себя довольно сложные электромеханические схемы, которые должны обеспечивать должное функционирование в сложных климатических условиях.

В качестве примера рассмотрим конструкцию излучателей двухдиапазонной антенны базовой станции сотовой связи Powerwave, работающей в диапазонах 824-960, МГц и 1710-2170, МГц. Ее внешний вид показан на рисунке ниже:



Этот двухдиапазонный облучатель состоит из двух металлических пластин. Та, что большего размера работает в нижнем диапазоне 900 МГц, над ней расположена пластина с щелевым излучателем меньшего размера. Обе антенны возбуждаются щелевыми излучателями и таким образом имеют единую линию запитки.

Если в качестве излучателей используются дипольные антенны, то необходимо ставить отдельный диполь для каждого диапазона волн. Отдельные диполи должны иметь свою линию запитки, что, конечно же, снижает общую надежность системы и увеличивает энергопотребление. Примером такой конструкции является антенна Kathrein для того же диапазона частот, что и рассмотренная выше:



Таким образом, диполи для нижнего диапазона частот находятся как бы внутри диполей верхнего диапазона.

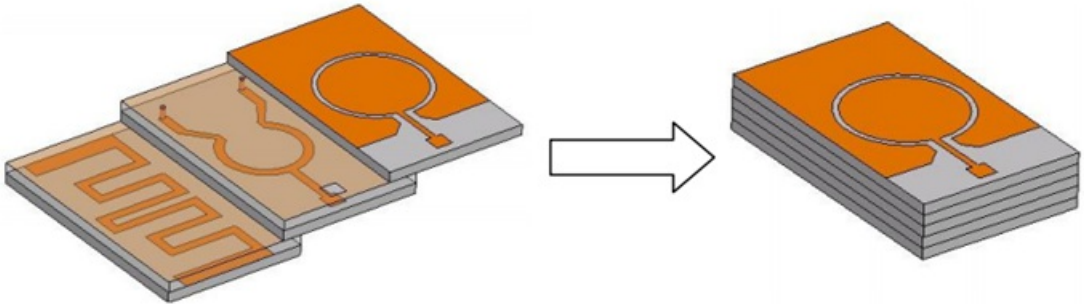
Для реализации трех- (и более) диапазонного режимов работы наибольшей технологичностью обладают печатные многослойные антенны. В таких антеннах каждый новый слой работает в довольно узком диапазоне частот. Такая "многоэтажная" конструкция изготавливается из печатных антенн с индивидуальными излучателями, каждая антенна настраивается на отдельные частоты рабочего диапазона. Конструкция поясняется рисунком ниже:

Как и в любых других многоэлементных антеннах в такой конструкции происходит взаимодействие элементов, работающих в разных диапазонах частот. Само собой это взаимодействие оказывает влияние на направленность и согласование антенн, но данное взаимодействие может быть устранено методами, применяемыми в ФАР (фазированных антенных решетках). Например, одним из наиболее эффективных методов является изменение конструктивных параметров элементов путем смещения возбуждающего устройства, а также изменение размеров самого облучателя и толщины разделительного диэлектрического слоя.

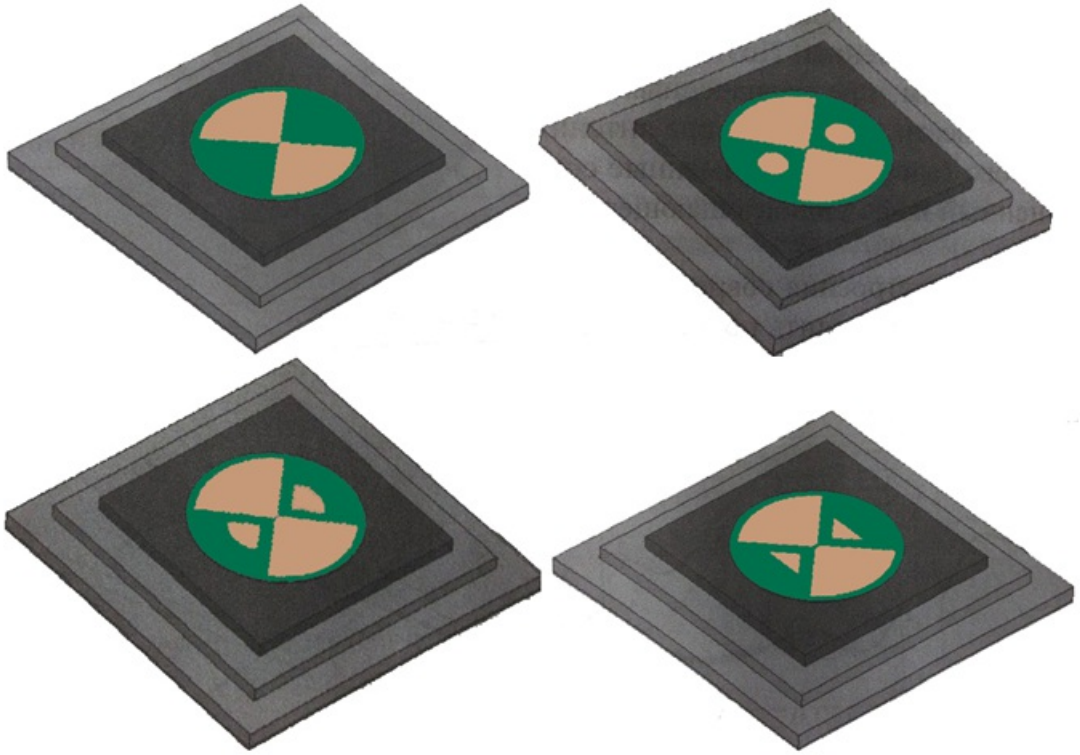
Важным моментом является то, что все современные беспроводные технологии широкополосные, и ширина полосы рабочих частот составляет не менее 0,2 ГГц. Широкой рабочей полосой частот обладают антенны на основе взаимодополняющих структур, типичным примером которых являются антенны типа "bow-tie" (бабочка). Согласование такой антенны с линией передачи осуществляется подбором точки возбуждения и оптимизацией ее конфигурации. Чтобы расширить полосу рабочих частот по согласованию "бабочку" дополняют входным сопротивлением емкостного характера.

Моделирование и расчет подобных антенн производят в специализированных программных пакетах САПР. Современные программы позволяют моделировать антенну в полупрозрачном корпусе при наличии влияния различных конструктивных элементов антенной системы и позволяют тем самым произвести достаточно точный инженерный анализ.

Проектирование многодиапазонной антенны производят поэтапно. Сначала рассчитывают и проектируют микрополосковую печатную антенну с широкой полосой пропускания для каждого рабочего диапазона частот отдельно. Далее печатные антенны разных диапазонов совмещают (наложением друг на друга) и рассматривают их совместную работу, устраняя по возможности причины взаимного влияния.



Широкополосная антенна типа "бабочка" может быть удачно использована как основа для трехдиапазонной печатной антенны. На рисунке ниже изображены четыре различных варианта ее конфигурации.



Приведенные конструкции антенн отличаются формой реактивного элемента, который применяется для расширения рабочей полосы частот по согласованию. Каждый слой такой трехдиапазонной антенны представляет собой микрополосковый излучатель заданных геометрических размеров. Чем ниже частоты – тем больше относительный размер такого излучателя. Каждый слой печатной платы отделен от другого с помощью диэлектрика. Приведенная конструкция может работать в диапазоне GSM 1900 (1850-1990 МГц) – принимает нижний слой; WiMAX (2,5 – 2,69 ГГц) – принимает средний слой; WiMAX (3,3 – 3,5 ГГц) – принимает верхний слой. Подобная конструкция антенной системы позволит принимать и передавать радиосигнал без использования дополнительного активного оборудования, не увеличивая тем самым габаритных размеров блока антенны.

И в заключении немного о вреде БС

Порой, базовые станции операторов сотовой связи устанавливают прямо на крышах жилых домов, чем конкретно деморализуют некоторых их обитателей. У хозяев квартир перестают "рожать кошки", а на голове у бабушки начинают быстрее появляться седые волосы. А тем временем, от установленной базовой станции жители этого дома электромагнитного поля почти не получают, ибо "вниз" базовая станция не излучает. Да и, к слову сказать, нормы СаНПиНа для электромагнитного излучения в РФ на порядок ниже, чем в "развитых" странах запада, и поэтому в черте города базовые станции никогда на полную мощность не работают. Тем самым, вреда от БС нет, если только вы не устраиваетесь позагорать на крыше в паре метров от них. Зачастую, с десяток точек доступа, установленных в квартирах жителей, а также микроволновые печи и сотовые телефоны (прижатые к

голове) оказывают на вас намного большее воздействие, нежели базовая станция, установленная в 100 метрах за пределами здания.