

Многолучевые антенны: решения компании ETI

С.И. Дингес, Е.Р. Хасьянова

Многолучевые антенны: решения компании ETI.....	1
О компании ET Industries	2
Антенное оборудование от компании ETI.....	3
Масштабируемые WiMAX антенны с двойной поляризацией.....	8
Литература.....	11
Терминология антенных технологий.....	12

Многолучевые антенны (*Multibeam antenna, MBA*) могут обеспечить увеличение емкости радиосетей при улучшенной спектральной эффективности и более высоком качестве обслуживания пользователей. Один из методов практической реализации таких антенн использует принципы множественного доступа с пространственным разделением пользователей SDMA (*Space Division Multiple Access*), что обеспечивает высокую пользовательскую емкость в ограниченном частотном спектре без каких-либо существенных технологических изменений.

Для улучшения качества функционирования систем радиосвязи вместо всенаправленных антенн малого радиуса действия (*short-distance*) с малым усилением можно применять остронаправленные антенны большого радиуса действия (*long-distance antenna*) с большим усилением. Применение антенны дальнего действия позволит увеличить число абонентов, находящихся в одном направлении, но не даст возможности использовать систему абонентам на других направлениях. Эту проблему решает использование многолучевых антенн и методов, в которых по другим направлениям одновременно или последовательно во времени повторно используется узконаправленная антенна с большим усилением (*high-gain narrowbeam antenna*). Это позволяет получить суммарное круговое покрытие как у всенаправленной антенны, но с существенным увеличением количества абонентов во всех направлениях.

Многолучевая антенна – это в общем случае антенна, имеющая многолепестковую диаграмму направленности. Обычно это антенна с несколькими независимыми входами/выходами, каждому из которых соответствует своя диаграмма направленности – свой луч. В многолучевой антенне осуществляется **параллельный обзор пространства**, т.е. в пространстве одновременно формируется множество лучей, расположенных дискретно в секторе сканирования. Сигналы, поступающие на антенну с различных направлений, могут быть разделены и переданы на различные порты антенны, т.е. **разделены в пространстве**. Такое же пространственное разделение сигналов может быть осуществлено и в обратном канале связи.

Методы пространственного разделения абонентов, применяемые для оптимального использования доступного частотного ресурса большинством поставщиков услуг беспроводных систем связи, обычно ограничиваются тремя секторами в 360-градусной зоне покрытия. При использовании многолучевой антенны число секторов покрытия может быть увеличено, например, до 48. Поскольку в многолучевых системах можно повторно использовать доступные частоты (*frequency-reuse techniques*) и уменьшить уровень помех, это приводит к увеличению числа абонентов при улучшении качества обслуживания в зоне беспроводной сети. При этом на значительное расстояние и в различных направлениях могут передаваться данные, речь и видеосигналы без необходимости использовать

ретрансляционные станции. В результате уменьшаются эксплуатационные расходы сети и существенно увеличивается количество обслуживаемых абонентов, надежность и качество работы сети.

Подобные многолучевые антенны с пассивным формированием лучей (*Passive beamforming network*) входят в состав систем радиосвязи обеспечивая всенаправленное покрытие с возможностью его “развертки” (*sweeping coverage*) и увеличенной дальностью и эффективностью.

Основными компонентами **многолучевой антенной системы** (*Multibeam System*) являются собственно антенна и устройство формирования луча (*beamformer, beamforming network*) [1-2]. **Антенна** состоит из большого количества антенных элементов, например диполей или патч-антенн, упорядоченных в антенной решетке. **Устройство формирования луча** обеспечивает необходимую фазу РЧ сигналов, подводимых ко всем элементам антенны для того, чтобы сформировать лучи в различных направлениях. Для достижения требуемых характеристик многолучевой антенной системы одинаково важны электрические и конструктивные параметры обоих компонентов.

О компании ET Industries

Поставщиком антенного оборудования, разработанного в соответствии с изложенными выше принципами является компания **Electromagnetic Technologies Industries, Inc.** (ETI, www.etiworld.com) [3]. Примером устройства формирования диаграммы направленности антенны может служить разработанное компанией запатентованное решение **Optibeam**, использующее фазированную антенную решетку (*phased-array antenna*).

ET Industries (ETI) является высокотехнологичной компанией, специализирующейся на разработке и производстве современных РЧ и СВЧ узкополосных и широкополосных компонентов и подсистем. Номенклатуру выпускаемых компанией изделий составляют устройства формирования луча антенн (*Antenna Beamformer Network*), РЧ и СВЧ интегральные схемы, делители мощности (*Power Divider*), активные и пассивные фазосдвигающие устройства (*Phase Shifter*), направленные ответвители (*Directional Coupler*), устройства коммутации, схемы с распределенными параметрами (*Distributed Network*), смесители, модуляторы, фильтры, мультиплексоры и другие компоненты.

Постоянно проводимые в ET Industries теоретические и экспериментальные исследования, а также непрерывное развитие новых методов корпусирования дает ей возможность всегда находиться в лидирующей группе компаний. Это подтверждают многочисленные публикации в национальных и международных научных журналах и других изданиях. К настоящему времени ET Industries вовлечена во многие программы развития связи и оборонные программы, разрабатывая компоненты для большого числа применений и разнообразных требований.

Например, семейство продуктов WiMAX, включающее базовую станцию **ETMAX** (*ETMAX Apollo Base Station*) и абонентский блок **Apollo SU** (*Apollo SU subscriber unit*) было сертифицировано WiMAX Форумом (WiMAX Forum), полноправным членом (Principal Member) которого ET Industries является в настоящее время.

Учитывая то, что базовые станции и оконечное абонентское оборудование, устанавливаемое в помещении клиента CPE (*Customer Premises Equipment*), являются ключевыми компонентами любой системы WiMax, специалисты компании продвинули технологию WiMAX на шаг далее, разработав и развив технологию смарт-антенны **WICS** (*Wireless Integrated Communications System*). В результате сейчас ET Industries является производителем одной из наиболее устойчиво работающих и надежных систем WiMax, известных сегодня на рынке.

Антенное оборудование от компании ETI

В антенне, используемой компанией ET Industries, применены элементарные планарные антенны, называемые обычно **патч-антенны** (*patch antenna*) – прямоугольные излучатели с одной точкой питания, упорядоченные в антенной решетке (array). Патч-антенны выполняются с использованием микрополосковой высокочастотной технологии печатного монтажа. Достоинствами использования патч элементов в таком массиве являются небольшие размеры, низкая стоимость производства, малый вес, простота монтажа и высокая надежность.

Рассматриваемая антенна спроектирована как линейная фазированная антенная решетка с равным межэлементным разнесением и прогрессивным сдвигом фаз в антенной решетке [1,2,4]. Сигнал на каждый элемент антенны поступает с различной амплитудой и фазой в соответствии с желаемым направлением суммарного электромагнитного излучения. Поля излучающих элементов с различными фазами объединяются в дальней зоне антенны, формируя узкий луч.

Расстояние между элементами поддерживается равным половине длины волны на центральной рабочей частоте. Точка питания выбрана в центре патч-элемента, хотя точное положение было определено на основе анализа экспериментальных измерений отражения по входу (*input reflection*), выполненных с помощью высокочастотного векторного анализатора цепей (VNA).

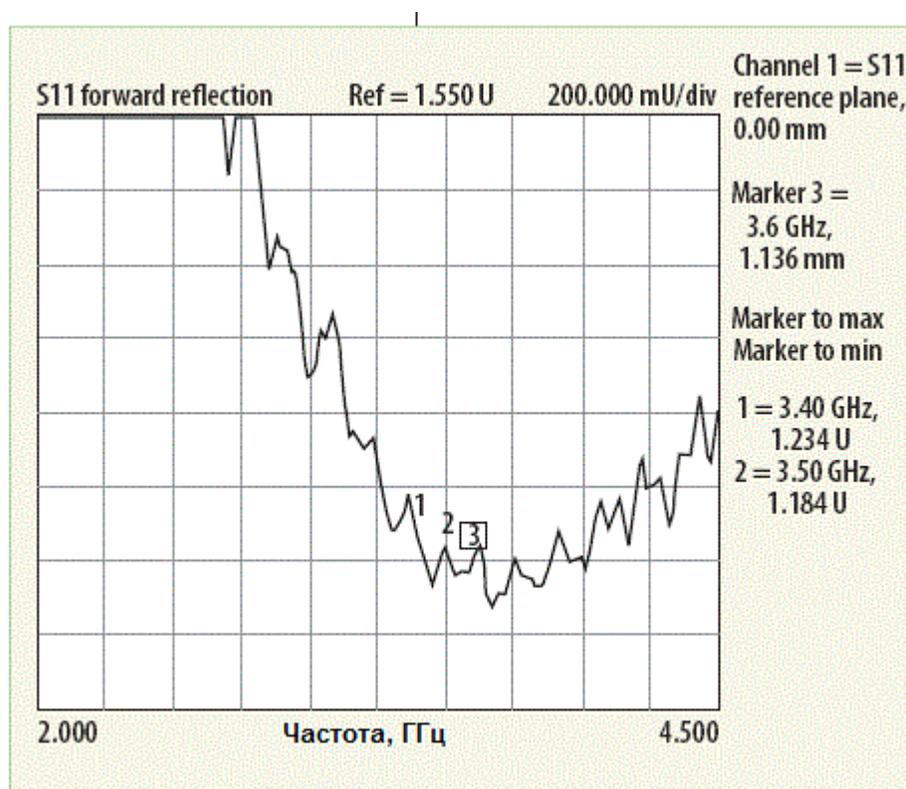


Рисунок 1. Результаты измерения отражения по входу антенны (Input Reflection Measurement of Multibeam Antenna)

Для улучшения характеристик антенны в рабочем диапазоне частот 3,4-3,6 ГГц, границы которого отмечены на рисунке 1 маркерами 1 и 3, точка питания был выбрана чуть выше центральной точки. Также тщательно выбиралась форма каждого элементарного излучателя, чтобы в рабочем частотном диапазоне достичь коэффициента стоячей волны по

напряжению (*voltage standing wave ratio*) меньше 1,50:1. Разработанная патч-антенна обладает следующими конструктивными параметрами:

- Резонансная частота (*Resonant frequency*) – 3,7 ГГц;
- Толщина подложки (основания) (*Substrate height*) – 0,1 см;
- Диэлектрическая постоянная подложки (*Substrate dielectric constant*) – 2,2;
- Длина патч-антенны (*Patch antenna length*) – 4 см;
- Ширина патч-антенны (*Patch antenna width*) – 1,8 см;
- Поляризация – вертикальная.

Вся совокупность патч-антенн линейно расположена на едином диэлектрическом основании и имеет азимутальную ширину луча 15 градусов и вертикальную ширину луча 7 градусов. Конструкция четырехлучевых антенн (*four-beam antenna*) требует использования минимум четырех решеток (рядов) элементов патч-антенны [4].

Четырехлучевая система, основанная на предложенных методах, была разработана для антенны с усилением (*antenna gain*) 26 дБ, коэффициентом направленности или обратного излучения (*front-to-back ratio*) большим 30 дБ и уровнем боковых лепестков (*sidelobe*) на 20 дБ ниже уровня главного лепестка. Характеристики четырехлучевых антенн были получены путем измерений с использованием микроволнового векторного анализатора цепей VNA. Полученные при сканировании по частоте от 2,0 до 4,5 ГГц экспериментальные результаты приведены на рис. 1. Рабочий диапазон антенной системы при КСВ меньше 1,50:1 оказался равным 3,2-4,2 ГГц.

Собственно **устройство формирования луча (*beamformer*)** – это достаточно сложный функциональный узел, состоящий из пассивных СВЧ элементов. Он используется для обеспечения требуемой фазы и амплитуды сигналов, подаваемых с системы приемопередатчиков на антенну. Устройство формирует лучи антенных решеток и устанавливает их направления электронным способом без необходимости механического воздействия на элементы антенной системы.

Такие электронно-управляемые схемы формирования луча могут быть разработаны при использовании компьютерного анализа антенных элементов и сопутствующих электронных компонентов во временной или частотной области. При разработке схемы формирования луча предлагаемой многолучевой антенной системы для широкополосных применений был использован анализ в частотной области [5-8].

Для того чтобы свести к минимуму потери РЧ сигнала и стабилизировать значения фазы и амплитуды сигнала, схема формирования луча изолируется от антенного блока или, наоборот, интегрируется с антенным блоком. В описываемом примере устройство формирования луча было размещено около антенны, и для поддержания в решетке необходимых фазовых соотношений при подключении используются согласованные по фазе кабели (*phase-matched cable*), что показано на рис. 2. В рабочем диапазоне частот эти кабели дают согласованную точность по фазе (разбаланс) ± 1 градус. Каждый 90-сантиметровый отрезок кабеля имеет меньше 0,5 дБ вносимых потерь.

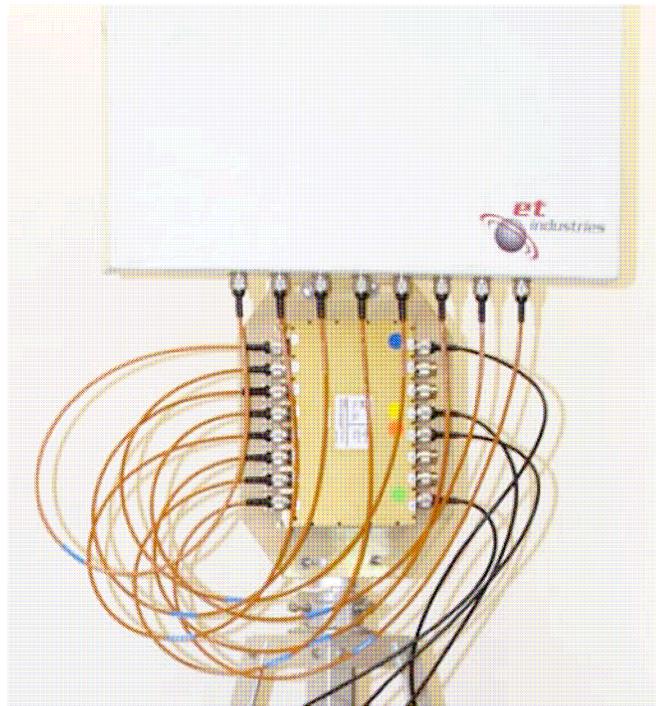


Рисунок 2. Система многолучевой антенны

Чтобы получить необходимые фазовые соотношения для формирования четырех лучей в 60-градусном секторе, устройства формирования луча были разработаны компанией EPI с использованием комбинации квадратурных ответвителей (quadrature coupler), гибридных СВЧ компонентов (microwave hybrid) и фазовращателей (phase shifter). Для создания необходимых фазовых весов в устройствах формирования луча могут использоваться полностью симметричные 90-градусные гибридные компоненты (hybrid junctions), интегрированные в сборку.

Чтобы экспериментально подтвердить эффективность используемого подхода к проектированию, компанией было разработано устройство формирования луча четырехлучевой антенны для использования в диапазоне 3,4-3,6 ГГц. Его характеристики были определены с помощью векторного анализатора цепей модели N5230A компании Agilent Technologies.

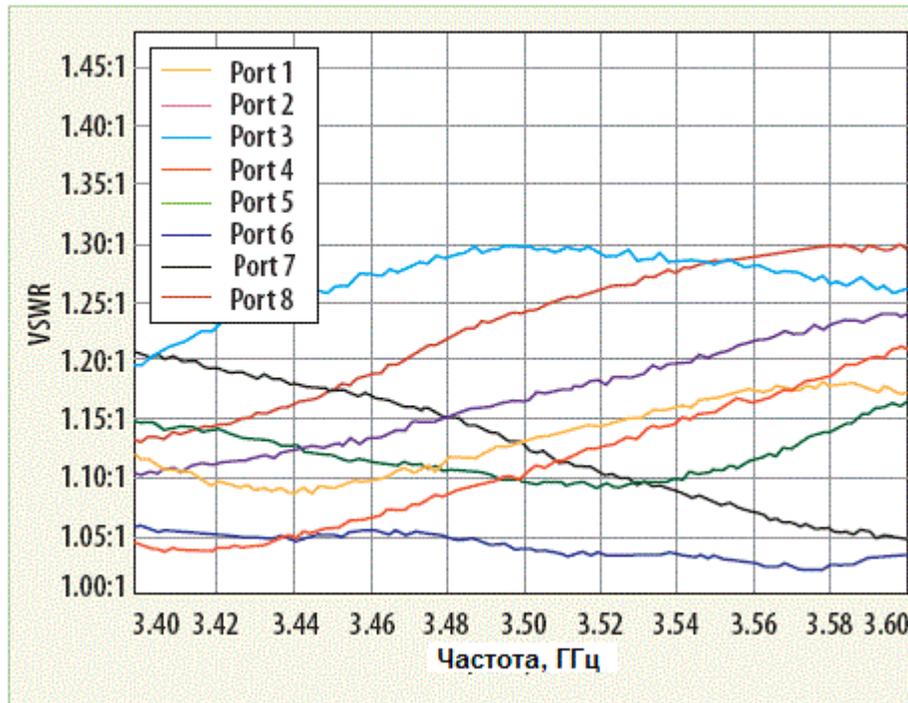


Рисунок 3. Величина входного КСВ (VSWR) устройства формирования луча, измеренная в диапазоне 3,4–3,6 ГГц, не превышает величины 1.3:1, что говорит о высокой эффективности устройства и малых дополнительных потерях

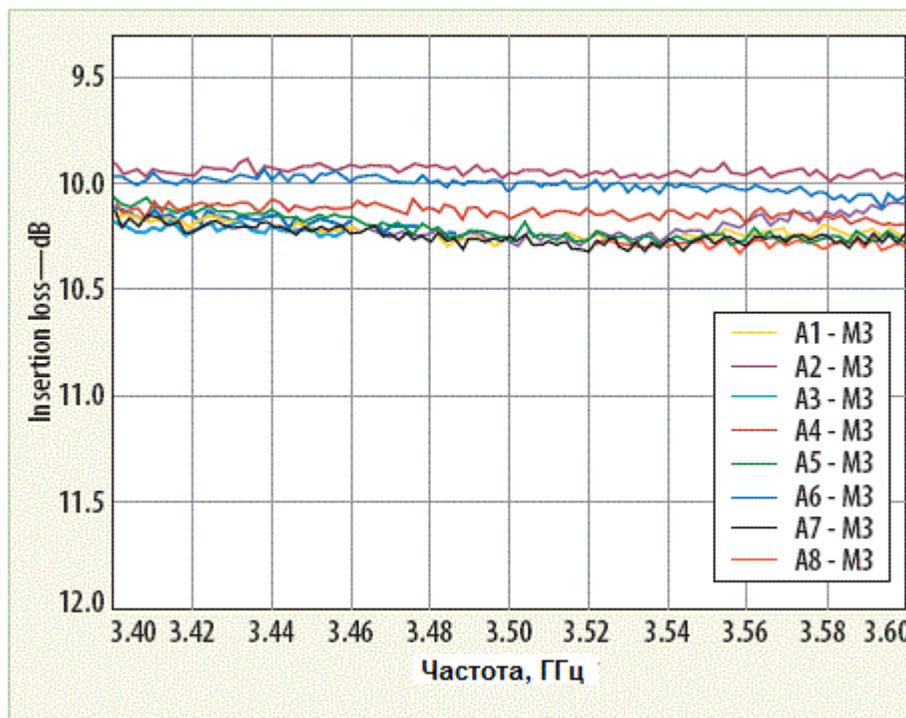


Рисунок 4. Величина потерь в устройстве формирования луча 8x8, измеренная между его входными (An) и выходными (Mn) портами. Важнейшие параметры подобных устройств - неравномерность потерь и разброс потерь между различными портами составляет в рабочем диапазоне частот всего десятые доли децибел, что в конечном

итоге позволило создать устройство формирования луча с очень хорошими рабочими характеристиками

На рисунках 3-4 представлены результаты тестирования типичного восьмилучевого устройства формирования луча, основанного на этом подходе к проектированию.

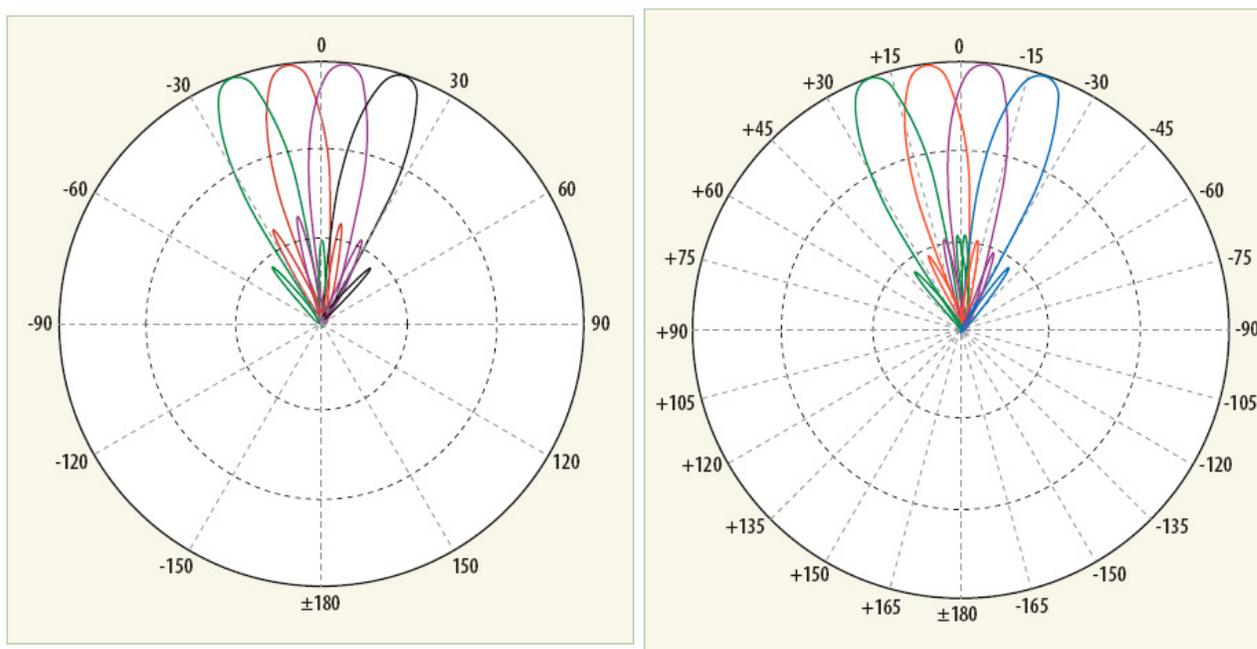


Рисунок 5. Практически полученная (слева) и сгенерированная посредством программного моделирования (справа) диаграммы направленности четырехлучевой антенной системы

Диаграмма направленности излучения системы многолучевой антенны была измерена в открытой среде в частотном диапазоне 3,4-3,6 ГГц. Подключение устройства формирования луча производилось с использованием фазосогласованных кабелей. Входы устройства формирования луча рассчитаны на работу с четырьмя различными центральными частотами: 3,440; 3,480; 3,520 и 3,580 ГГц при ширине канала 7 МГц. Входная РЧ мощность, используемая при тестировании, была равна +5 дБм, и мощность сигнала, полученного при комбинации антенны и устройства формирования луча, измерялась на расстоянии на 200 м с использованием в качестве приемника анализатора спектра.

Мощность полученного сигнала измерялась с шагом 1 градус на окружности радиусом 200 метров при установленной в центре четырехлучевой антенне. Практически полученная диаграмма направленности и теоретическая диаграмма направленности, сгенерированная посредством программного моделирования в среде MATLAB, представлены на рис. 5. Результаты измерений хорошо совпадают с теоретическими результатами программного моделирования.

Анализ изготовленной четырехлучевой антенной системы показывает, что при использовании шести таких антенных систем может быть обеспечено полное 360-градусное покрытие для сайтов беспроводной связи. Потенциальными сферами применения многолучевых антенн являются системы доступа WiMAX и сети сотовой связи. Использование антенн может существенно увеличить емкость и спектральную эффективность таких сетей за счет повторного использования частот (frequency reuse).

Проведенные исследовательские работы позволили компании ETI создать ряд пассивных устройств формирования луча, сведения о которых сведены в таблицу:

Таблица 1. Пассивные устройства формирования луча

Модель	Диапазон частот, ГГц	Число мод (# of Modes)	Число антенных элементов (# of Antenna Elements)	Разбаланс амплитуд, дБ	Разбаланс фаз, град
B-1.25G-24	0.5-2	2	4	+/-0.5	+/-5
B-3.5G-22	3.4-3.6	2	2	+/-0.4	+/-5
B-3.5G-44	3.4-3.6	4	4	+/-0.5	+/-5
B-3.5G-88	3.4-3.6	8	8	+/-0.5	+/-8
B-3.5G-1616	3.4-3.6	16	16	+/-0.8	+/-8
B-5.6G-22	5.4-5.8	2	2	+/-0.5	+/-5
B-5.6G-44	5.4-5.8	4	4	+/-0.5	+/-5
B-5.6G-88	5.4-5.8	8	8	+/-0.5	+/-5
B-118-24	1-18	2	4	+/-0.8	+/-10
B-218-48	2-18	4	8	+/-0.8	+/-10
B-14-44	1-4	4	4	+/-0.6	+/-8

Для использования в системах WiMAX компания EPI разработала двух-, четырех-, восьми- и двенадцатилучевые антенны (Таблица 2).

Таблица 2. Многолучевые антенны

Модель	4ET35216	4ET354165	4ET35816	4ET351216
Количество лучей (базовых станций)	2	4	8	12
Коэффициент усиления, дБ	22	26	28	30
Углы максимумов излучения секторов (Sector Peak Angles)	±30°	±12°; ±37°	±5,3°; ±16°; ±27,3°; ±39,7°	±3,5°; ±10°; ±17°; ±24,5°; ±32°; ±40,25°
Ширина диаграммы направленности субсектора (Sub-Sector Beam Width)	60°	22,5°	11,25°	7,5°
Общая ширина луча (Total Beam Width)	120° (90°)	90° или 120°	90° или 120°	90° или 120°

- Диапазон рабочих частот - 3,2-3,7 ГГц;
- Антенны работают с мощностью до 20 Вт;
- Поляризация – вертикальная;
- Угол раскрыва по половинной мощности (Half Power Angle) в H-плоскости H-Plane - 90° (для 4ET35216 - 120°), в E-плоскости (E-Plane) - 7°.

Масштабируемые WiMAX антенны с двойной поляризацией

Предлагая технические решения, рассчитанные на создание сайтов с очень высокой абонентской емкостью, компания EPI разработала серию так называемых «масштабируемых (*scalable*) антенн» с двойной поляризацией (*dual polarization*). Используя эти многолучевые антенны в плотной городской среде, можно получить системы более высокой производительности, чем при стандартных 3 или 4 секторах на сайте. Каждый сектор сайта связан со своей базовой станцией и общая емкость сайта напрямую зависит от числа секторов. Путем сочетания передовых технологий формирования лучей и использования вертикальной и горизонтальной поляризации можно обеспечить хорошую изоляцию секторов, что позволяет эффективно применять технологии повторного использования частот (frequency reuse). Таким образом, использование антенн EPI может обеспечить

высокую емкость сайтов даже при ограниченном выделенном частотном ресурсе.

Антенны работают на частотах до 11 ГГц и на наиболее распространенных частотах WiMAX профилей. Многолучевые масштабируемые антенные решения ETI способны обеспечить максимальную гибкость конфигураций сайтов, позволяя получить на них от 1 до 72 лучей в шести секторах (рис. 6).

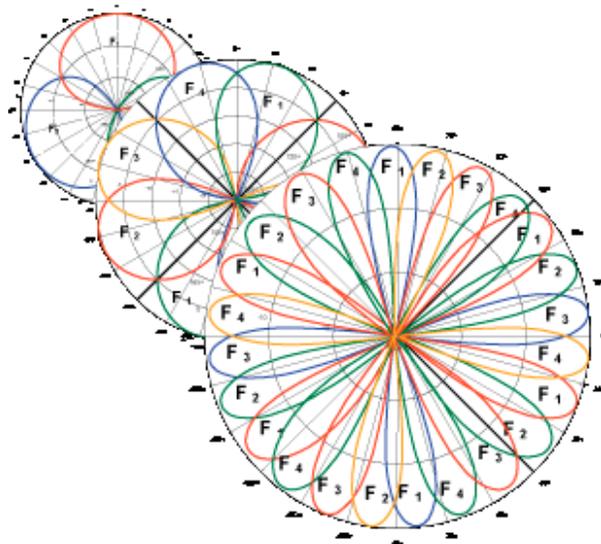


Рисунок 6. Секторизация сайтов с помощью масштабируемых антенн

Масштабируемость антенных систем позволяет операторам и поставщикам услуг удовлетворять продолжающийся или резкий рост требований по емкости системы без установки новых антенн и связанных с этим процессов. Антенны могут обеспечить высокую пропускную способность, большую абонентскую мощность системы и увеличение эффективности использования спектра при минимальном количестве базовых станций. Таким образом, эти антенны могут повысить общую производительность сети при одновременном снижении капитальных CAPEX и эксплуатационных OPEX затрат по сравнению с традиционными WiMAX системами.

Компания выпускает ряд антенн с двойной поляризацией *ETMAX Duo Pol Antenna*, основные сведения о которых приведены в таблице ниже.

Таблица 3. Антенны с двойной поляризацией

Модель	6ET2P24	6ET2P35	6ET2P56	6ET2P105
Диапазон частот, ГГц	2,2 - 2,9	3,1 - 3,7	5,2 - 5,9	10,2 - 10,8
Размеры (ВхШхТ), см	127x117x6,4	92x79x6,4	61x53x6,4	33x28x5,1
Вес, кг	13,6	9,5	5,9	1,4

Фазированная антенная решетка включает устройства образования луча (beam forming) и формирования диаграммы направленности луча (beam shaping), создавая шесть лучей в 90°-градусной диаграмме направленности. Антенны работают с мощностью до 20 Вт, имеют коэффициент усиления 22 дБ, угол раскрытия по половинной мощности (Half Power Angle) в Н-плоскости (H-Plane) - 90°, в Е-плоскости (E-Plane) - 5°.

- КСВ – 1,6;
- Количество секторов в горизонтальной и вертикальной плоскостях – по 6;
- Антенны могут быть использованы в диапазоне температур от -40 до +65° С.
- Углы излучения: $\pm 7^\circ$, $\pm 22^\circ$, $\pm 38^\circ$;
- Ширина субсектора луча (SubSector Beam Width): 15°.

Дополнительные сведения о продукции ET Industries (ETI) можно найти на сайте: www.etiworld.com. Официальный представитель компании ETI в России: ООО «Радиокомп».

Литература

1. J. Desai, J. Howard. Multibeam Antenna Serves Broadband Wireless Coms. *Microwaves and RF*, June 2008. <http://mwrf.com/Articles/Index.cfm?Ad=1&ArticleID=19192>
2. J. Desai, J. Howard. Multibeam Antenna System Using Passive Beamforming Networks For Broadband Wireless Communications. <http://www.etiworld.com>
3. Материалы сайта <http://www.etiworld.com>
4. K. Greenwood. Understanding Passive Beamforming Networks. Sep 6, 2011. http://rfdesign.com/military_defense_electronics/understanding-passive-beamforming-networks-0911/index.html
5. J. Howard, J. Logothetis, J. Wilson. Beamformers: Broadband RF Technology for Integrated Networks. *Antennas and Propagation Society (AP-S) International Symposium*, July 21-26, 1996. AP-S Digest vol. 3, pp. 1632-1635.
6. B. C. Wadell, *Transmission Line Design Handbook*, Artech House, Norwood, MA, 1991, ISBN: 9780890064368.
7. J. Howard, M. S. Lavey. Transmission Line Directional Couplers with a Generalized Sinusoidal Coupling Coefficient. *Electronics Letters*, vol. 31, Issue 24, Nov. 23, 1995, pp. 2114-2115.
8. J. Howard. Stripline Coupler Directs 2 to 40 GHz. *Microwaves and RF*, vol. 25, No. 5, July 1986, pp. 119-125.
9. H. M. Singh, J. Howard. Fundamentals of Wideband Stripline Directional Coupler Design. *Microwave Journal*, vol. 32, No. 11, November 1989, pp. 99-106.
10. J. Howard, W.C. Lin. Simple Rules Guide Design of Wideband Stripline Couplers. *Microwaves and RF*, vol. 27, No. 5, May 1988, pp. 201-211.
11. J. Howard, W.C. Lin. High-Pass Directional Couplers with Improved Ripple. *Proceedings of the Second International Symposium on Recent Advances in Microwave Technology*, Beijing, China, September 1989, pp. 283-286.

Терминология антенных технологий

Ниже приведен краткий словарь терминов, который может быть полезен при чтении статьи. Следует оговориться, что терминология в данной области инженерной деятельности во многом еще не устоялась, и зачастую, некоторые термины даже в англоязычной литературе трактуются по-разному.

- **Фазированная антенная решетка, ФАР (*phased-array antenna*, PAA)** – антенна, состоящая из совокупности антенных элементов (излучателей), размещенных определенным образом в пространстве, с возможностью управления фазой РЧ сигналов, подаваемых на каждый из элементов.
- **Формирование диаграммы направленности антенны; бимформинг (*Beamforming, beam forming*)** - технология формирования электромагнитного поля антенны в дальней зоне в виде узконаправленного лепестка, ориентированного в необходимом направлении, с возможностью изменения при необходимости его направленных свойств.
- **Устройство формирования луча (*beamformer, beamforming network*)**, называемое зачастую **диаграммообразующая схема (ДОС)** многолучевых антенных решеток, выполняется обычно на основе **матрицы Батлера (*Butler matrix*)** или **матрицы Бласса**. ДОС на основе матрицы Батлера называется параллельной, а на основе матрицы Бласса – последовательной. Матрица Батлера представляют собой многополюсник, входы которого соединены с элементами решетки, а выходы соответствуют определенным приемным лучам. Матрица состоит из квадратурных направленных ответвителей и фиксированных фазовращателей, при этом пространственная ориентация лучей диаграммы направленности зависит от частоты принимаемых сигналов, что необходимо учитывать при определении истинного направления на источник сигнала.
- Использование при обработке сигнала антенных систем с **неизменными во времени параметрами** позволяют получить антенну со многими входами/выходами, каждому из которых соответствует своя диаграмма направленности - свой луч, т.е. **многолучевую антенну**.
- Использование при обработке сигнала линейных систем с **изменяющимися параметрами**, в которых обычно применяются ключи/переключатели, коммутаторы или фазовращатели, позволяет управлять положением в пространстве главного луча антенны при сохранении его формы. При использовании таких **антенн с перемещением (движением) луча** поступающие сигналы, **разделяются во времени**, так как главный максимум диаграммы направленности в результате действия управляющих устройств в разные моменты времени может быть направлен в различных направлениях.
- **Адаптивная антенна (*adaptive antenna*)** - антенна с электронным (электронно-механическим) формированием диаграммы направленности, при котором происходит управление не только положением в пространстве главного луча антенны, но и положением нулей диаграммы направленности, т. е. направлений, с которых приём сигналов сильно подавлен. сторону абонентского устройства с возможностью изменения направленных свойств при изменении положения этого оборудования. В общем случае производится формирование многолепестковой диаграммы направленности, лепестки направляются на каждого абонента или на группу абонентов. В направлении источников помех в диаграмме направленности формируются провалы (нули), что позволяет подавлять сигналы с нежелательных направлений.
- **Переключаемые лепестки (*Switched Lobes*)** – метод формирования необходимой диаграммы направленности, в котором используются секторные многолепестковые антенны (***sub-sector antennas***) с фиксированной формой общей диаграммы

направленности. Каждый лепесток охватывает часть сектора, и оборудование при работе использует тот лепесток, в котором оказывается самый сильный уровень принимаемого сигнала для каждого абонента.

- **Статическое формирование диаграммы направленности антенны (*Static Beamforming*)** – технология, использующая фазированную антенную решетку для создания некоторого количества фиксированных, статических конфигураций луча. Необходимая конфигурация луча выбирается при работе с каждым абонентом на основе измерений угла прихода сигнала, производимых на базовых станциях.
- **Адаптивное формирование диаграммы направленности антенны (*Adaptive Beamforming*)** - технология, подразумевающая формирование электромагнитного поля антенны базовой станции в дальней зоне в виде узконаправленного главного лепестка, ориентированного в сторону абонентского устройства с возможностью изменения направленных свойств при изменении положения абонента.
- **Интеллектуальная антенна; смарт-антенна (*Smart Antenna*)** - чаще всего этим термином обозначают совокупность антенных элементов и средств обработки сигналов, позволяющую автоматически менять характеристики радиооборудования с целью оптимизации условий приема/передачи сигналов, например, максимизации отношения сигнал-шум в канале связи.
- **Многоантенная система (*Multiple Antenna Systems*)** - система, состоящая из нескольких **антенных элементов**, в которой используются соответствующие **многоантенные технологии**, в частности механизм пространственно-временной обработки сигналов.
- **Пространственно-временная обработка (*Space-Time Processing, STP*)** сигналов - адаптивная обработка сигналов в **многоантенной системе** с использованием как пространственной, так и временной областей радиоканала на передающем, приемном или на обоих концах канала связи.
- Техника STP может применяться **только** на передающем, приемном или на обоих концах канала. Первые два случая обычно относят к технологии интеллектуальных антенн (*smart antenna*). Традиционными являются системы **SISO (*Single Input Single Output*)** – с одной антенной на прием и одной на передачу. Если система использует несколько антенн на передающем конце канала (**разнесенная передача**), то ее называют **MISO (*Multiple Input Single Output*)**, если на приемном (**разнесенный прием**) - **SIMO (*Single Input Multiple Output*)**. В системах MISO и SIMO скорость передачи данных не увеличивается, а **улучшается только качество канала связи**.
- Основным признаком **технологии множественного приема и передачи MIMO (*Multiple Input Multiple Output*)**, отличающим системы MIMO от других, как это следует из их названия, состоит в том, что в них применяются много передающих и много приемных антенн – то есть «много входов» и «много выходов». За счет этого достигается их высокая помехоустойчивость и скорость передачи информации. Существеннейшим достоинством систем MIMO, является то, что их использование при низких значениях С/Ш и значительных замираниях позволяет расширить зоны приема, увеличить скорость передачи за счет обработки **всей принятой совокупности (объема) сигналов**, MIMO структура обеспечивает передачу как говорят «от объема к объему». Для этого полноценная система MIMO должна обладать рядом свойств, в том числе, наличием нескольких трактов приема и передачи.

Некоммерческой ассоциацией Форум WiMAX (*WiMAX Forum*) для канала связи вниз WiMAX MIMO 2×2 (по две антенны на прием и передачу) определены два различных метода передачи:

- **Матрица A, Matrix A** - разнос на передаче с пространственно-временным кодированием (*space time coding*); При использовании **матрицы A** обеими

передающими антеннами передается одинаковая информация. Если качество канала связи низкое, такая двойная передача обеспечивает лучшую защиту от ошибок, чем устройства SISO.

- **Матрица В, Matrix В** - пространственное мультиплексирование (*Spatial multiplexing*). При использовании **матрицы В**, через две передающие антенны посылаются различная (распараллеленная) информация. Когда условия передачи в канале связи хорошие, применение Матрицы В позволяет передать данные с удвоенной скоростью по сравнению с устройствами SISO.