УДК 621.3.052.63

АНТЕНИ МОБІЛЬНИХ ТЕРМІНАЛІВ У СУЧАСНИХ МЕРЕЖАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ (ОГЛЯД)

DOI 10.36994/2707-4110-2019-1-22-04

Попов В. І., д.т.н., проф., Ризький технічний університет (РТУ), Рига, Латвія. Popovs@latnet.lv

Скуднов В. О., к.т.н., Ризький технічний університет (РТУ), Рига, Латвія. vladimir.skudnov@sotus.net

Васильєв О. С., к.т.н., Ризький технічний університет (РТУ), Рига, Латвія. aleksejs.vasiljevs@ldz.lv

Анотація. У зв'язку з розвитком технологій мобільних терміналів (мобільні телефони, смартфони, планшети, комп'ютери з бездротовими модемами і т.д.) В стандартах UMTS (3G) і LTE (4G) велика увага виробників цих пристроїв приділяється модернізації та розробці антенних систем. В даний час антенні системи MS (mobile station) технологічно виконуються на основі мікросмужкових ліній складної конфігурації, які забезпечують виконання вимог, що пред'являються сучасними стандартами зв'язку. Для мобільних терміналів автомобільного, залізничного транспорту впроваджуються антенні системи МІМО, адаптивні антенні решітки, що відповідають сучасним технічним вимогам зі сталого прийому сигналів базових станцій. У роботі проводиться аналіз існуючих, і оцінюється перспектива антенних систем мобільних терміналів 3G-4G покоління системи мобільного зв'язку.

Ключові слова: Антени, патч антени, мікрополоскові антени, смарт антени, адаптивні антени, тенденції розвитку.

ANTENNAS OF MOBILE TERMINALS IN MODERN MOBILE COMMUNICATION NETWORKS (OVERVIEW)

Valentin Popov, Dr. habil., Prof., Riga Technical University (RTU), Riga, Latvia. popovs@latnet.lv

Vladimir Skudnov, Ph.D., Riga Technical University (RTU), Riga, Latvia. vladimir.skudnov@sotus.net

Alexey Vasilyev, Ph.D., Riga Technical University (RTU), Riga, Latvia. aleksejs.vasiljevs@ldz.lv

Abstract. In connection with the development of technology of mobile terminals (cell phones, smartphones, tablets, computers with wireless modems, etc.) in the

standards of UMTS (3G) and LTE (4G) great attention of manufacturers of these devices is concentrating on the modernization and development of antenna systems of mobile stations (terminals).

Currently, antenna systems of mobile stations is implementing on base of technology in form of complex configuration microstrip transmission lines, which ensure compliance with the requirements of modern wireless communication standards. Adaptive antenna arrays and MIMO antenna systems are implemented in mobile terminals for road and railway transport, which allow to achieve a sustainable reception of signals from the base stations.

As you know, the difficult conditions for the propagation of radio waves in cellular mobile communication systems are associated with their absorption, multiple reflection and scattering. In these cases, the laws that are true for the line of sight conditions (LOS, Line of Sight) no longer work. The properties of antennas integrated into mobile terminals (mobile stations — MS (Mobile Station)) directly depend on the statistical characteristics of the environment and the location of the operating terminal relative to the spatial position of the user. Therefore, when designing MS antennas in UMTS and LTE mobile communication systems in the frequency ranges from 450 to 3700 MHz, it is important to consider all of the above factors.

Keywords: *Antennas, patch antennas, microstrip antennas, smart antennas, adaptive antennas, development trends.*

Вступление

В связи с развитием технологий мобильных терминалов (сотовые телефоны, смартфоны, планшеты, компьютеры с беспроводными модемами и т.д.) в стандартах UMTS (3G) и LTE (4G) большое внимание производителей этих устройств уделяется модернизации и разработке антенных систем. В настоящее время антенные системы MS (Mobile Station) технологически выполняются на основе микрополосковых линий сложной конфигурации, которые обеспечивают выполнение требований, предъявляемых современными стандартами связи. Для мобильных терминалов автомобильного, железнодорожного транспорта внедряются антенные системы MIMO, адаптивные антенные решетки, отвечающих современным техническим требованиям по устойчивому приему сигналов базовых станций. В работе проводится анализ существующих, и оценивается перспектива антенных систем мобильных терминалов 3G-4G поколений сотовой системы мобильной связи.

Как известно сложные условия распространения радиоволн в системах сотовой мобильной связи связаны с их поглощением, многократным отражением и рассеянием. В этих случаях закономерности, справедливые для условий прямой видимости (LOS, Line of Sight), больше не работают. Свойства встроенных в мобильные терминалы (мобильные станции — MS (Mobile Station)) антенн напрямую зависят от статистических характеристик окружающей среды и расположения работающего терминала относительно пространственного положения пользователя. Поэтому при проектировании антенн MS в системах мобильной связи стандартов UMTS и LTE в диапазонах частот от 450 до 3700 MHz, важно учитывать все вышеизложенные факторы.

Перспективным направлением исследований в разработке антенн мобильных терминалов являются вопросы увеличения скорости передачи данных и улучшения надежности работы при сохранении текущих размеров конечных устройств. Основной задачей в данной области является разработка адаптивных многолучевых антенн и антенных систем с применением технологии MIMO для мобильных терминалов. Антенны MIMO уже применяются в ряде планшетных компьютеров (к примеру, Apple iPad Air) и в дальнейшем ожидается рост использования этих систем в сегменте мобильных устройств. Основная задача инженеров, работающих над адаптацией антенн с переключаемыми лучами и адаптивных антенных решеток для мобильных терминалов, заключается в уменьшении размеров самих антенных систем. Это становится возможным с применением ключей на базе микроэлектромеханических систем (MEMS переключатели), обладающих малыми потерями в диапазоне сверхвысокочастотного излучения.

Современное состояние антенн ms 3g и 4g

Как известно [1] сложные условия распространения радиоволн в системах сотовой мобильной связи связаны с их поглощением, многократным отражением и рассеянием. В этих случаях закономерности, справедливые для условий прямой видимости (LOS, Line of Sight), больше не работают. Свойства встроенных в мобильные терминалы (мобильные станции — MS (Mobile Station)) антенн напрямую зависят от статистических характеристик окружающей среды и расположения работающего терминала относительно пространственного положения пользователя. Поэтому при проектировании антенн MS в системах мобильной связи стандартов UMTS и LTE в диапазонах частот от 450 до 3700 MHz (табл. 1), важно учитывать все вышеизложенные факторы.

Таблица 1

Распределение частотных диапазонов в стандартах UMTS и LTE

Стандарт	Используемые частотные диапазоны, MHz
UMTS (3G)	800, 850, 900, 1500, 1700, 1900, 2100
LTE (4G)	450, 700, 800, 850, 900, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2300, 2500, 2600, 3500, 3700

К основным требованиям, предъявляемых к антеннам современных MS можно отнести:

- малые размеры;
- большая полоса рабочих частот;
- высокий коэффициент усиления;
- высокая эффективность передачи и приема радиоволн при различной пространственной ориентации;
- малый уровень вредного электромагнитного излучения;
- высокие механические и температурные свойства.

Антенны для MS можно разделить на два вида: встроенные и подключаемые. Среди встроенных антенн различают: внутренние, внешние штыревые и внешние

выдвижные. Для систем мобильной связи 3G-4G целесообразно рассматривать только встроенные внутренние антенны.

Внутренние антенны, как правило, направленные антенны. Главный лепесток направленности излучения антенны устремлен в противоположную сторону от головы разговаривающего по MS человека. Прикрывать антенну рукой при разговоре нежелательно— это ведет к ухудшению условий связи и, как следствие, повышению мощности передатчика, ускоренному расходу заряда батареи и усиленному облучению тела абонента.

Современные внутренние антенны реализуются в виде плоской микрополосковой антенны (патч антенны — patch antenna) или планарной инвертируемой микрополосковой антенны (PIFA — Planar Inverted-F Antennas).

Плоские микрополосковые антенны

Микрополосковая антенна представляет собой плоский металлический проводник, расположенный над заземленной подложкой. При этом патч антенна (рис. 1), как правило, выполняется в виде печатной платы, имеет длину L , ширину W , и расположена на верхней части диэлектрической подложки с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ_r .

Рис. 1. Конструкция микрополосковой (патч) антенны

Микрополосковая линия передачи и заземление выполняются из металла высокой проводимости (обычно меди). Толщина подложки h значительно меньше рабочей длины волны λ (1):

$$\lambda = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}. \quad (1)$$

Толщина металла микрополосковой антенны и заземления не является критически важной.

Распределение электрической составляющей между патч антенной и заземлением в определенный момент времени показана на рис. 1, 2. Изменение $E(t)$ приводит к излучению (или приему) электромагнитного поля в пространстве, окружающем антенну.

Рис. 2. Электромагнитное поле в микрополосковой антенне

Центральную рабочую частоту f_0 такой антенны можно найти из приближенного уравнения:

$$f_0 = \frac{c}{2 \cdot L \cdot \sqrt{\epsilon_r}}, \quad (2)$$

При варьировании величины L и диэлектрической проницаемости подложки ϵ_r , появляется возможность изменения рабочей частоты и условий излучения.

Из уравнения (2) следует, что длина микрополосковой антенны L должна быть порядка половины длины электромагнитной волны, распространяющейся в среде диэлектрической подложки (3):

$$L = \frac{\lambda}{2}. \quad (3)$$

Ширина W микрополосковой антенны определяется из уравнения (4) и влияет на входное сопротивление и пропускную способность антенны:

$$W = \frac{c}{2f_0} \cdot \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}. \quad (4)$$

Для квадратной антенны входной импеданс может составить порядка 300 Ом. При увеличении ширины, входное сопротивление может быть уменьшено, а пропускная способность увеличена. Однако, чтобы уменьшить входное сопротивление до 50 Ом, часто требуется достаточно большая ширина антенны, которая может занимать много места в MS.

Электромагнитное поле (ЭМП) патч антенн линейно поляризованное, при этом диаграмма направленности [7] в зависимости от угловой азимутальной координаты φ имеет вид, показанный на рис.3. Коэффициент усиления патч антенн находится в пределах 7–10 dB.

Рис. 3. Пример диаграмм направленностей прямоугольных патч антенн

Прямоугольные плоские антенны **узкополосны**, при этом их полоса пропускания, как правило, не превышает 3%.

Планарные f-образные антенны (pifa)

Планарная F-образная антенна (PIFA — Planar Inverted-F Antennas) — наиболее распространенная на сегодняшний день разновидность микрополосковой антенны [4]. Причина популярности антенн PIFA объясняется её рядом достоинств [2]:

- широкая полоса рабочих частот (до 10% от резонансной частоты);
- малые габариты и поддержка многодиапазонности;
- относительно высокое усиление как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях поляризации.

Конструкция антенны типа PIFA показана на рис. 4.

Рис. 4. Конструкция планарной F-образной антенны

Электрические характеристики PIFA антенны зависят от размеров верхней излучающей пластины, соотношения длин ее сторон L_1 и L_2 , высоты этой пластины над экраном H , размера вертикальной заземляющей стенки W и расположения точки запитки антенны.

Небольшие габариты антенны PIFA характеризуются тем, что ее резонансная частота f_0 , определяемая из уравнения (5), примерно равна полупериметру горизонтальной излучающей пластины:

$$f_0 = \frac{c}{\lambda} \quad (5)$$

Следует отметить, что резонансная длина волны зависит от размеров конструкции антенны и вычисляется по формулам приведенным в табл.2 [6].

При совпадении ширины вертикальной заземляющей пластины W и длины стороны L_2 контактирующего с ней планарного элемента, обеспечивается наибольшая полоса пропускания PIFA антенны. Кроме того, ширина вертикального элемента влияет на поляризацию излучения/приема.

Таблиця 2

Формулы для расчета резонансной частоты антенны PIFA

Условие	Резонансная длина волны λ
$W = 0$	$\frac{\lambda}{4} = L_1 + L_2 + H$
$\frac{W}{L_2} = 1$	$\frac{\lambda}{4} = L_1 + H$

В качестве примера, на рис. 5 показана диаграмма направленности однодиапазонной PIFA антенны [7], из которой следует, что направление главного максимума ортогонально плоскости антенны, а его ширина составляет порядка 60° .

Рис. 5. Диаграмма направленности PIFA антенны

Адаптивные (смарт) антенны

Идеи, удачно реализованные в ходе разработки сложных адаптивных антенн для базовых станций сотовых телефонов, нашли применение и для создания интеллектуальных антенных систем в аппаратуре мобильных терминалов в сети четвертого поколения. В настоящее время в современных устройствах MS могут применяться два новых типа антенн: адаптивные антенны и антенны MIMO (multi-input, multi-output).

Принцип работы адаптивных антенн заключается в возможности изменения параметров и характеристик антенны, в частности, в управлении диаграммой направленности. Адаптивные антенны можно разделить на антенны с переключаемыми лучами и адаптивные антенные решетки.

Антенна с переключаемыми лучами — это система, состоящая из излучателей с фиксированной диаграммой направленности. Для обеспечения наилучшего сигнала выбирается определённый луч, как это показано на рис. 6 а, что позволяет увеличить или уменьшить усиление по обстоятельствам, но только в направлениях, где лучи существуют.

Адаптивная антенная решетка — смарт антенна, позволяющая динамически изменять характеристики антенны за счёт использования фазовращателей, аттенюаторов и усилителей (рис. 7). Управление элементами антенны

происходит через процессор, анализирующий внешние и внутренние факторы, что позволяет сформировать луч ДН в нужном направлении для обеспечения наилучшего сигнала с минимальным уровнем помех.

Технология MIMO (Multiple-Input-Multiple-Output) реализуется на основе использования нескольких антенн для передачи и приема информации. Такой подход позволяет не только повысить надежность передачи (за счет использования всеми антеннами общего канала (рис. 8), но и увеличить пропускную способность всего тракта. В настоящее время данная технология активно используется в антенных системах модемов и беспроводных маршрутизаторов.

Антенна с переключаемыми лучами

Адаптивная антенная решетка

а, б

Рис. 6. Настраиваемые диаграммы направленности адаптивных антенн

Рис. 7. Схема реализации адаптивной антенной решетки

Параметры современных типовых антенн MS

В настоящий время широкое распространение получили микрополосковые антенны, выполненные по технологии печатных плат. Среди преимуществ данной технологии достаточно хорошие характеристики направленности, компактные размеры, простота установки в различные устройства при невысокой стоимости производства. В табл. 3 представлены типовые микрополосковые антенны MS 2G/3G/4G, доступные на рынке телекоммуникаций, а на рис. 9 изображены их диаграммы направленности [11].

Рис. 8. MIMO антенна с M-передатчиками и N-приемниками

Таблица 3

Типовые микрополосковые антенны

Тип антенны	Диапазон частот, МГц	Входное сопротивление, Ом	Коэффициент усиления, dB
2G/3G/4G всенаправленная патч антенна	698–960, 1390–1435, 1710– 1990, 1755–2170, 2400–2500, 2500–2700, 3400–3600	50	–1.3
2G/3G/4GPIFA антенна	700–800, 824–896, 880–960, 1710–1880, 1850–1990, 1710– 2170	50	–1.9
4G LTE MIMO 2*2 антенна	703–803, 824–894, 880–960, 1565–1612, 1710–1880, 1850– 1990, 1920–2170, 2400–2500, 2500–2700, 3400–3600	50	–1.84

Перспективы развития антенных систем мобильных терминалов

Перспективным направлением исследований в разработке антенн мобильны терминалов являются вопросы увеличения скорости передачи данных и улучшения надежности работы при сохранении текущих размеров конечных устройств. Основной задачей в данной области является разработка адаптивных многолучевых антенн и антенных систем с применением технологии MIMO для мобильных терминалов. Антенны MIMO уже применяются в ряде планшетных компьютеров (к примеру, Apple iPad Air) и в дальнейшем ожидается рост использования этих систем в сегменте мобильных устройств. Основная задача инженеров, работающих над адаптацией антенн с переключаемыми лучами и адаптивных антенных решеток для мобильных терминалов, заключается в уменьшении размеров самих антенных систем. Это становится возможным с применением ключей на базе микроэлектромеханических систем (MEMS переключатели), обладающих малыми потерями в диапазоне сверхвысокочастотного излучения.

Рис. 9. Диаграмма направленности:
а) PIFA антенны, б) всенаправленной патч антенны [11]

Выводы

В работе рассмотрены наиболее широко используемые антенны мобильных терминалов третьего и четвертого поколений сотовой мобильной связи. Приведены их основные параметры и технологическая реализация. Оцениваются перспективы развития таких антенн для применения в 3G-4G поколений и последующих стандартах мобильной связи.

Литература

1. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM. Москва: Эко-Трендз, 2005, 296 с. [Popovs V. GSM standarta šūnu mobile sakaru sistēmas. Projektēšanas problēmas. Rīga: RTU Izdevniecība, 2003, 362 lpp.]
2. Слюсар В. Антенны PIFA для мобильных средств связи. Электроника: НТБ, 1/2007, 64–74 с.
3. Fujimoto K., James J.R. Mobile Antenna Systems Handbook. London: Artech House, Inc., 1994, 710 p.
4. Fujimoto K., Morishita H. Modern Small Antennas. New York: Cambridge University Press, 2014, 473 p.
5. Gibson J.D. The Mobile Communication Handbook. New York: IEEE Press, 1999.
6. Huynh M.C. A Numerical and Experimental Investigation of Planar Inverted-F Antennas for Wireless Communication Applications, Master thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, USA, 2000, 123 p.
7. Milligan T.A. Modern Antenna Design, second edition. Hoboken: John Wiley&Sons, Inc., 2005, 614 p.

8. Pinho P., Rocha Pereira J.F. Optimization of a PIFA Antenna Using Genetic Algorithms, in Proceedings of the 3 rd Conference on Telecommunications (ConfTele 2001), 2001.

9. Popov V., Skudnov V. Fundamentals of design of cellular networks of mobile communication. Moscow: Gorjatchaja Linija-TELEKOM, 2017, 400p. (Попов В.И., Скуднов В.А. основы проектирования сотовых сетей мобильной связи. М.: Горячая Линия-ТЕЛЕКОМ, 2017, 400 с.)

10. Siwiak K. Radio wave Propagation and Antennas for Personal Communications. London: Artech House, Inc., 1998, 418 p.

11. Wong Kin-Lu. Planar Antennas for Wireless Communications. New York: Wiley-Inter Science, 2003, 301 p.

12. Zhang Z. Antenna Design for Mobile Devices. Wiley-IEEE Press, 2011, 304 p.

References

1. Popov V.I. Osnovy sotovoj svyazi standarta GSM. Moskva: Eko-Trendz, 2005, 296 s. [Popovs V. GSM standarta sunu mobile sakaru sistemas. Projektesanas problemas. Riga: RTU Izdevnieciba, 2003, 362 lpp.]

2. Slyusar V. Antenny PIFA dlya mobilnyh sredstv svyazi. Elektronika: NTB, 1/2007, 64–74 s.

3. Fujimoto K., James J.R. Mobile Antenna Systems Handbook. London: Artech House, Inc., 1994, 710 p.

4. Fujimoto K., Morishita H. Modern Small Antennas. New York: Cambridge University Press, 2014, 473 p.

5. Gibson J.D. The Mobile Communication Handbook. New York: IEEE Press, 1999.

6. Huynh M.C. A Numerical and Experimental Investigation of Planar Inverted-F Antennas for Wireless Communication Applications, Master thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, USA, 2000, 123 p.

7. Milligan T.A. Modern Antenna Design, second edition. Hoboken: John Wiley&Sons, Inc., 2005, 614 p.

8. Pinho P., Rocha Pereira J.F. Optimization of a PIFA Antenna Using Genetic Algorithms, in Proceedings of the 3 rd Conference on Telecommunications (ConfTele 2001), 2001.

9. Popov V., Skudnov V. Fundamentals of design of cellular networks of mobile communication. Moscow: Gorjatchaja Linija-TELEKOM, 2017, 400p. (Popov V.I., Skudnov V.A. osnovy proektirovaniya sotovyh setej mobilnoj svyazi. M.: Goryachaya Liniya-TELEKOM, 2017, 400 s.)

10. Siwiak K. Radio wave Propagation and Antennas for Personal Communications. London: Artech House, Inc., 1998, 418 p.

11. Wong Kin-Lu. Planar Antennas for Wireless Communications. New York: Wiley-Inter Science, 2003, 301 p.

12. Zhang Z. Antenna Design for Mobile Devices. Wiley-IEEE Press, 2011, 304 p.