

## МНОГОДИАПАЗОННАЯ ПЛАНАРНАЯ АНТЕННА ДЛЯ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Ферас Хабиб Рамах, А. А. Васин, О. В. Терехин,  
Л. И. Пономарев, Алаа Алдин Сархан

**В** настоящее время наблюдается повышенный спрос на многодиапазонные антенны в системах сотовой связи, так как использование нескольких однодиапазонных антенн требует много места и не всегда возможно в мобильных устройствах. Интеграция многодиапазонной антенны в систему мобильной связи позволяет использовать все преимущества различных диапазонов связанных систем при минимизации занимаемого ей объема. В статье предложена четырехдиапазонная PIFA-антенна, работающая в частотных диапазонах 824 ... 894 МГц (3G UMTS – FDD, BAND 5), 1910 ... 1990 МГц (3G UMTS – TDD, BAND36-37), 2500 ... 2690 МГц (4GLTE– FDD, BAND 7) и 3300 ... 3400 МГц (4GWIMAX– TDD).

**Ключевые слова:** четырехдиапазонная антенна, многодиапазонная антенна, планарная антенна, компактная антенна, PIFA, сотовая связь, мобильная связь.

### Введение

Сотовая связь является основой современных телекоммуникационных систем, а мобильные средства связи стали частью нашей повседневной жизни. По мере развития беспроводных технологий сотовые телефоны оснащались различными модулями, работающими в широкой полосе частот [1 – 4].

Для реализации стабильной качественной связи необходимо использовать отдельные антенны на каждый из модулей, что ведет к увеличению числа антенн и не всегда возможно из-за высокой плотности размещения элементов.

Другим способом обеспечения многодиапазонной работы мобильных устройств является применение широкополосной антенны с полосой пропускания от минимальных до максимальных частот, на которых работает каждый из модулей. Данный путь развития антенных систем имеет некоторые недостатки. В частности, такие устройства обладают низким коэффициентом направленного действия (КНД) и коэффициентом усиления, а также будут принимать все шумы в полосе пропускания, что создаст высокий

уровень входных помех из-за сложной электромагнитной обстановки в гигагерцовом диапазоне частот.

Перспективным направлением является создание многорезонансных антенн, способных работать сразу в нескольких диапазонах частот с узкими полосами пропускания, настроенными на конкретные модули. В качестве требований к таким антеннам можно обозначить следующие: малые габаритные размеры и вес, хорошее согласование с питающей линией в полосе приема (как правило, коэффициент стоячей волны (КСВ) не выше 1,5 ... 2), малые потери в полосе пропускания и высокая крутизна амплитудно-частотной характеристики (АЧХ).

### Используемые конструкции антенн в сотовых телефонах

По мере варьирования требований к функционалу телефонов изменялась их форма и антенная часть. В первых, как правило, однодиапазонных конструкциях применялись телескопические антенны, а несколько позже – малогабаритные антенны: спиральные, вибраторные, низкопрофильные и др. (табл. 1) [5].

Таблица 1

Эволюция антенн в сотовой связи

Год	1900	1950	1970	1990	2000	2010
<b>Частота</b>	<10 кГц	<30 МГц	<800 МГц	<1,9 ГГц	<2 ГГц	3 ГГц, 5 ГГц
<b>Назначение</b>	Телеграфная/ телефонная связь для поездов, кораблей, служб охраны правопорядка	Портативные системы связи с подвижными объектами; пейджеры	Сотовые телефоны (аналоговые); беспроводные телефоны; пейджеры; GPS	Сотовые телефоны (цифровые); персональная связь на воздушных транспортных средствах (передача речи и данных)	Сотовые телефоны (мультимедийные); беспроводной доступ; Bluetooth	Сотовые телефоны (высокоскоростная передача данных); сверхширокополосные системы связи
<b>Тип антенн</b>	Несимметричный вибратор, штыревая	Штыревая в форме лопасти, ферритовая рамочная, спиральная	Зеркальная с угловым рефлектором, PIFA, спиральная	Типа меандр, спиральная с режимом осевого излучения, керамическая патч-антенна, адаптивная антенная решетка	Широкополосная, многодиапазонная встроенная, адаптивная антенная решетка, ММО	Малогабаритные многофункциональные антенны, встроенные антенны

Спиральные антенны представляют собой закрытую полимерной оболочкой спираль на диэлектрическом стержне. Существуют модели со спиралью, заключенной в резиновый корпус («гибкое исполнение») [6]. При соответствующем выборе параметров спиральная антенна очень эффективна. Спиральные антенны имеют физическую длину  $\lambda/12$  при четвертьволновой электрической длине. При дальнейшем уменьшении физической длины резко возрастают потери.

Для портативных радиотелефонов используется режим ненаправленного излучения, который реализуется при диаметре спирали, значительно меньше длины волны. При этом в плоскости витков антенна равномерно излучает во всех направлениях, а в плоскости, совпадающей с осью спирали, диаграмма направленности имеет форму восьмерки.

Неудовлетворительная работа спиральной антенны в портативных радиотелефонах в диапазоне частот 800 ... 900 МГц привела к тому, что разработчики усложнили ее, добившись выигрыша по сравнению с одиночной спиралью. Антенну сделали раздвижной и состоящей из двух спиралей: первая жестко установлена на корпусе (длина около 2 см), а вторая (длина около 10 см) размещена внутри корпуса радиотелефона. В выдвинутом состоянии вторая спираль становится основным излучателем.

Миниатюризация и, как следствие, уменьшение размеров сотовых телефонов заставили отказаться от использования вибраторных и спиральных излучателей и перейти к использованию низкопрофильных конструкций, а расширение стандартов связи – к применению многодиапазонных антенн [7, 8].

Планарные антенны обладают требуемыми характеристиками, такими как рабочая полоса пропускания, низкий профиль, малый вес и простота изготовления, что делает их идеальными для современных мобильных связных систем. Габаритные размеры сотового телефона позволяют расположить антенну на лицевой или боковой стороне корпуса.

Планарные антенны бывают разных типов, и один из них – плоская перевернутая F-антенна (PIFA) [9 – 11]. Такие антенны имеют резонансную длину  $\lambda/4$  и широко используются в сотовых телефонах и

других устройствах связи благодаря своим достоинствам: низкому значению удельного коэффициента поглощения (SAR), высокому коэффициенту усиления и поддержке многодиапазонного режима работы [11 – 14].

Одним из недостатков PIFA является сравнительно узкая рабочая полоса частот. Для ее расширения используют различные методы, например, увеличивают высоту плоскости короткого замыкания, что в конечном итоге приводит к увеличению размеров антенны.

Ниже предложена четырехдиапазонная PIFA с линейной поляризацией. Результаты моделирования показали, что такая антенна способна работать в наиболее распространенных современных стандартах сотовой связи и удовлетворяет требованиям, приведенным в табл. 2.

### Расчет четырехдиапазонной антенны

Предлагаемая конструкция четырехдиапазонной антенны приведена на рис. 1 и состоит из двух диэлектрических подложек разной длины с нанесенной на одну сторону металлизацией: нижняя подложка длиной  $L_g$  используется в качестве экрана (плоскости заземления), а верхняя подложка, повернутая металлическим слоем в обратную сторону, выступает в роли патча с тремя L-образными щелями для обеспечения работы в четырех диапазонах частот. Диэлектрические подложки толщиной 0,8 мм изготовлены из материала FR4 ( $\epsilon_r = 4,3$ ).

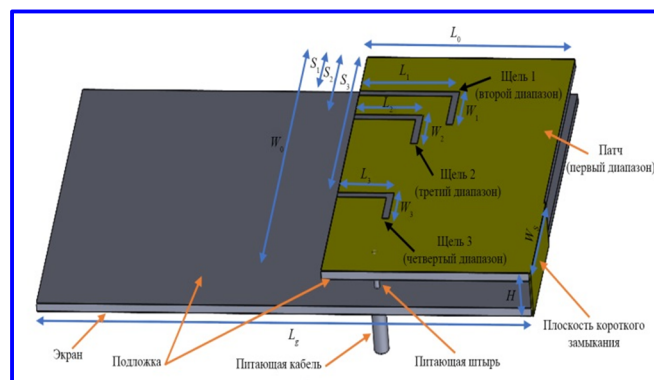


Рис. 1. Конструкция четырехдиапазонной антенны

Таблица 2

Сводная таблица по требуемым полосам частот для проектируемой антенны и используемые при этом стандарты сотовой связи

Частотный диапазон	Диапазон частот, МГц	Стандарт мобильной связи
1	824 ... 894	3G UMTS (FDD, BAND 5)
2	1910 ... 1990	3G UMTS (TDD, BAND 36-37)
3	2500 ... 2690	4GLTE (FDD, BAND 7)
4	3300 ... 3400	4G WiMAX (TDD)

Размеры патча и  $L$ -образных щелей рассматриваемой антенны можно приблизительно определить по формуле:

$$f_i = \frac{c}{4(L + W)}, \quad (1)$$

где  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света;  $f_i$  – резонансная частота в  $i$ -м диапазоне, Гц;  $L = L_0$ ,  $W = W_0$  – длина и ширина патча, м;  $L = L_1, L_2, L_3$  и  $W = W_1, W_2, W_3$  – размеры  $L$ -образных щелей, м.

Длина плоскости заземления (экрана)  $L_g$  может быть вычислена по приближенному соотношению:

$$L_g \approx 2W_0. \quad (2)$$

Остальные размеры модели антенны рекомендуется выбирать в следующих диапазонах:  $0 < W_s < W_0$ ,  $4 < H < 8$  мм, ширина щелей  $0,5 \dots 3$  мм.

Выражения (1) и (2) дают лишь приближенную оценку размеров четырехдиапазонной РИФА. В [12] показано, что результаты расчета по (1) приводят к более низкому значению резонансной частоты по сравнению с результатами моделирования и эксперимента. Поэтому для обеспечения работы предложенной конструкции антенны в указанных в табл. 2 диапазонах частот требуется проведение тщательного электродинамического моделирования и оптимизации характеристик РИФА.

### Результаты электродинамического моделирования

Параметрическая модель четырехдиапазонной РИФ-антенны была разработана и исследована в программе для электродинамического моделирования. На этапе оптимизации модели по критерию согласования ( $S_{11} \leq -10$  дБ) во всех рабочих диапазонах частот производились изменения всех геометрических параметров антенны (см. рис. 1). Ниже представлены результаты анализа влияния некоторых геометрических параметров антенны на величину коэффициента отражения  $S_{11}$  в перечисленных в табл. 2 полосах частот.

На рис. 2 показаны графики частотной зависимости  $S_{11}$ , полученные в результате исследования влияния расстояния  $H$  между экраном и патчем. Из графиков следует, что чем больше высота  $H$ , тем более широкая полоса рабочих частот наблюдается около каждого резонанса. При этом происходит заметное смещение резонансных частот в первых двух (самых низкочастотных) диапазонах.

На рис. 3 приведены графики частотной зависимости  $S_{11}$  для различных значений ширины плос-

кости короткого замыкания  $W_s$ . Изменение ширины  $W_s$  влияет только на первый частотный диапазон (самый низкочастотный), а изменения в других диапазонах пренебрежимо малы. Увеличение ширины  $W_s$  сдвигает резонансную частоту вправо, при этом наблюдается незначительное расширение полосы частот в первом диапазоне.

На рис. 4 приведены графики частотной зависимости  $S_{11}$ , показывающие влияние ширины подложки  $W_0$ . Уменьшение ширины подложки приводит к заметному сдвигу резонансных частот вправо для всех частотных диапазонов, особенно существенен сдвиг для четвертого (самого высокочастотного) диапазона. Полоса пропускания при этом также незначительно увеличивается.

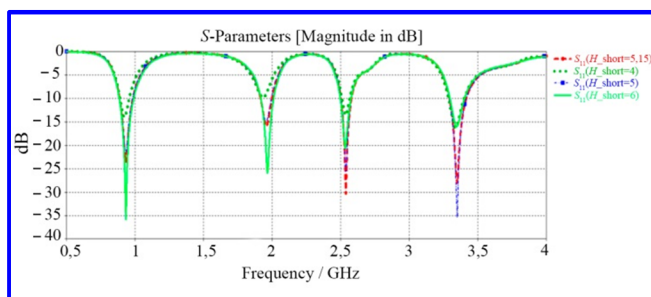


Рис. 2. Графики частотной зависимости  $S_{11}$  для различных значений расстояния  $H$ : 4; 5; 5,15 и 6 мм

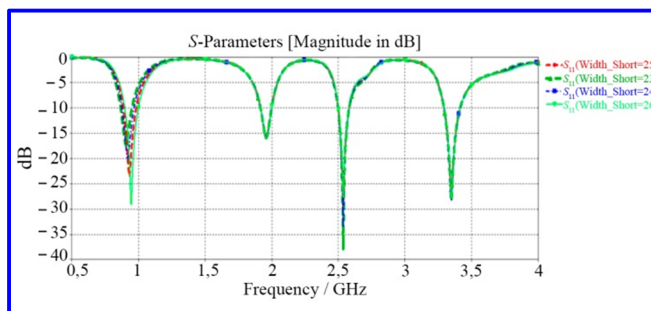


Рис. 3. Графики частотной зависимости  $S_{11}$  для различных значений ширины  $W_s$ : 23; 24; 25 и 26 мм

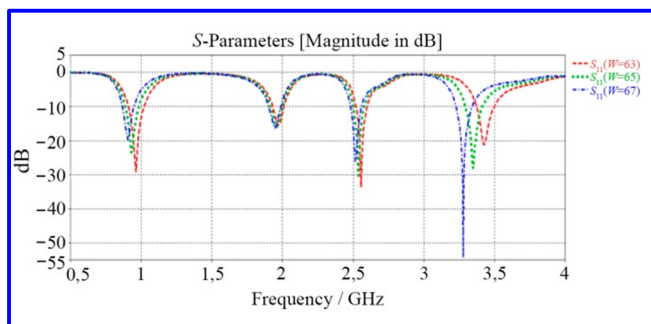


Рис. 4. Графики частотной зависимости  $S_{11}$  для различных значений ширины подложки  $W_0$ : 63; 65 и 67 мм

Далее представлены результаты моделирования PIFA для абонентского терминала сотовой связи с найденными в результате моделирования оптимальными геометрическими параметрами:  $L_g = 122$  мм,  $W_0 = 67$  мм,  $W_1 = 8,1$  мм,  $W_2 = 6$  мм,  $W_3 = 3,75$  мм,  $L_0 = 47,3$  мм,  $L_1 = 15,5$  мм,  $L_2 = 10,35$  мм,  $L_3 = 9,35$  мм,  $S_1 = 18$  мм,  $S_2 = 27,35$  мм,  $S_3 = 50,3$  мм,  $W_s = 27$  мм,  $H = 5$  мм.

На рис. 5 и 6 приведены графики частотных зависимостей коэффициента отражения  $S_{11}$  и КСВ соответственно.

Из рис. 5 следует, что разработанная антенна может обеспечить работу в четырех диапазонах частот с коэффициентом отражения  $S_{11}$ , не превышающим уровень  $-10$  дБ. В табл. 3 во втором столбце представлены значения ширины рабочей полосы частот в каждом диапазоне частот, которые определялись по уровню  $S_{11} \leq -10$  дБ. В третьем столбце табл. 3 представлены значения  $S_{11}$  на границах требуемых частотных диапазонов, указанных в табл. 2.

Из рис. 6 видно, что в пределах рабочих частотных диапазонов значение КСВ не превышает 2.

На рис. 7 представлены диаграммы направленности в масштабе КНД PIF-антенны на четырех резонансных частотах в двух ортогональных плоскостях:  $\varphi = 90^\circ$  и  $\varphi = 0^\circ$ .

Как видно из графиков на рис. 7, КНД антенны достигает следующих максимальных значений в рабочих частотных диапазонах: в первом диапазоне – 2,76 дБ; во втором диапазоне – 3,76 дБ; в третьем диапазоне – 8,02 дБ; в четвертом диапазоне – 3,69 дБ.

В табл. 4 представлены результаты сравнения характеристик разработанной модели PIFA с характеристиками антенн, предложенных другими авторами в [12, 15 – 17], где через  $f_i$  обозначена резонансная частота в  $i$ -м рабочем диапазоне частот для каждой рассматриваемой антенны.

Из табл. 4 следует, что разработанная антенна обладает размерами, сопоставимыми с другими антеннами, при этом обеспечивая работу в большем числе диапазонов частот и на более низких частотах. Кроме того, она обеспечивает более широкие полосы рабочих частот и имеет больший коэффициент усиления. Все это позволяет рекомендовать ее для использования в современных системах беспроводной связи, обеспечивающих многополосность и высокоскоростную передачу данных.

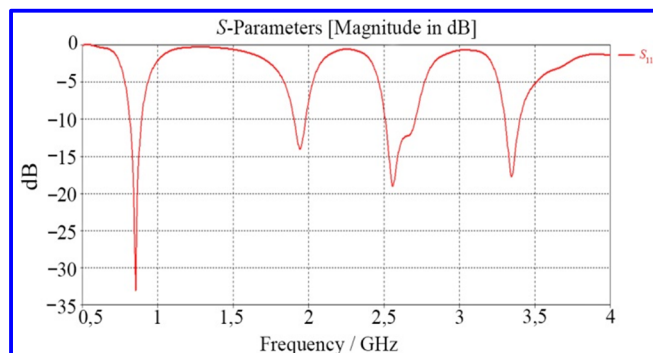


Рис. 5. График частотной зависимости коэффициента отражения  $S_{11}$  для четырехдиапазонной PIFA

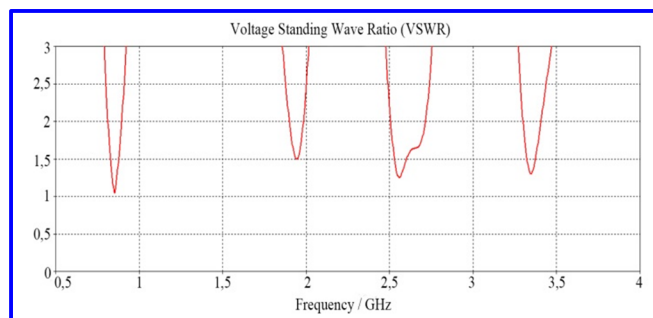


Рис. 6. График частотной зависимости КСВ для четырехдиапазонной PIFA

Таблица 3

**Результаты определения ширины рабочей полосы частот и коэффициента отражения  $S_{11}$  предлагаемой четырехдиапазонной PIFA**

Номер диапазона частот	Границы частотного диапазона, ГГц	Значения $S_{11}$ , дБ на границах требуемого частотного диапазона
1	[0,819, ... 0,894]	[-10,9, ... -10,08]
2	[1,904, ... 1,99]	[-10,793, ... -10]
3	[2,5, ... 2,712]	[-10,01, ... -10,9]
4	[3,3, ... 3,4]	[-10, ... -10]

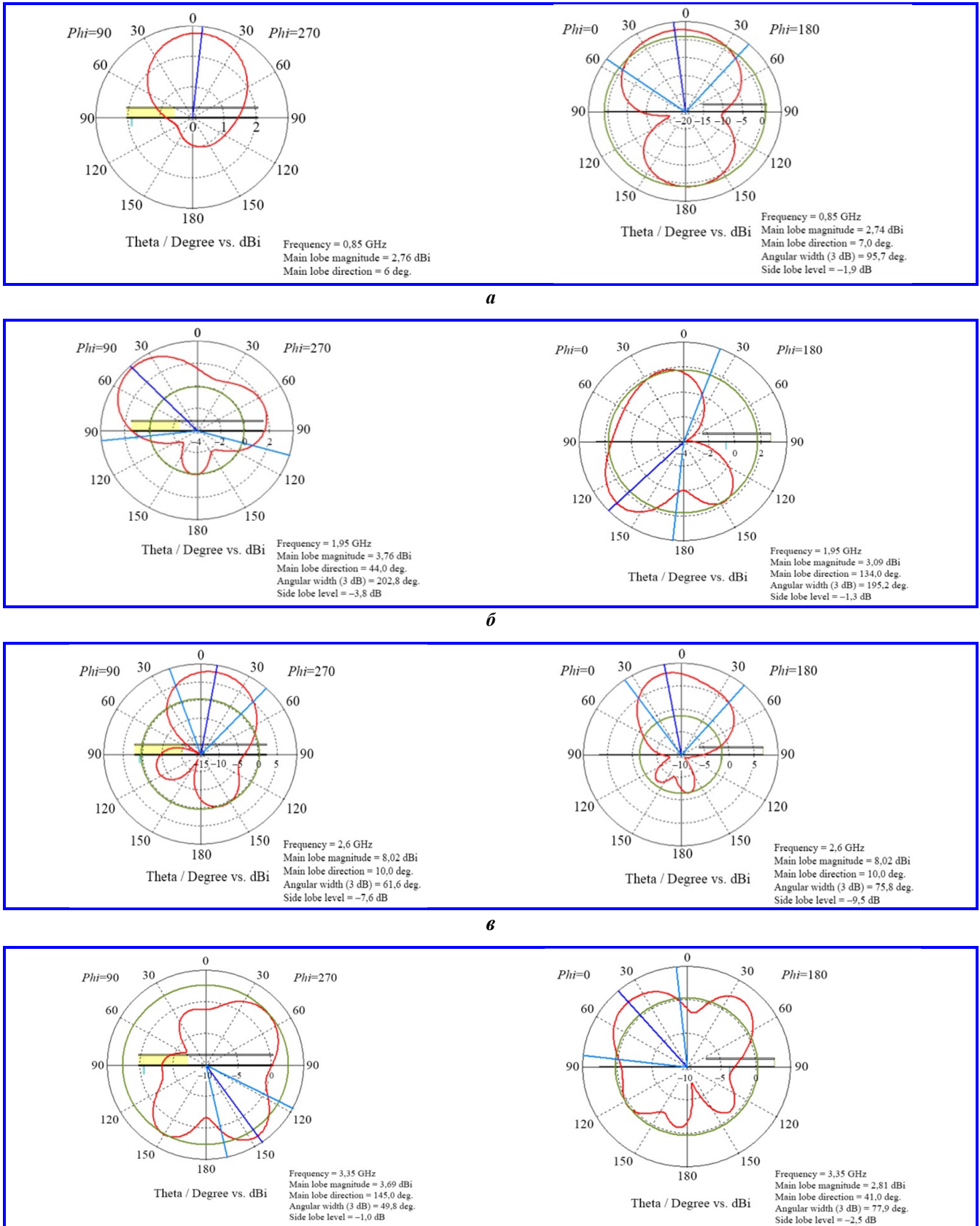


Рис. 7. Диаграммы направленности четырехдиапазонной РИФА в двух плоскостях:  
 а – 0,85 ГГц; б – 1,95 ГГц; в – 2,6 ГГц; г – 3,35 ГГц

Таблица 4

## Результаты сравнения характеристик планарных антенн

Номер источника	Размер, мм ( $L \times W \times h$ )	Резонансная частота, ГГц	Ширина рабочей полосы частот, МГц	Коэффициент усиления, дБ
[16]	127,5 × 127,5 × 1,6	$f_1$ :1,129 $f_2$ :1,208 $f_3$ :1,58	12,5 (1,1%) 19,36 (1,6%) 6 (0,4%)	4,03 5,6 2,31
[17]	69 × 69 × 15,1	$f_1$ :1,66 $f_2$ :3,25 $f_3$ :5,27	50 (1,5%) 49 (1,5%) 600 (11%)	2,03 5,6 6,3
[18]	80 × 78,93 × 1,7	$f_1$ :1,8 $f_2$ :2,4 $f_3$ :3,53	15 (0,8%) 23 (1%) 108 (3%)	-2,06 2,52 6,2
[13]	100 × 62 × 6,57	$f_1$ :0,9185 $f_2$ :1,575	37 (0,4%) 50 (3,2%)	0,662 2,19
Разработанная антенна	122 × 67 × 5	$f_1$ :0,85 $f_2$ :1,95 $f_3$ :2,6 $f_4$ :3,35	70 (8%) 80 (4%) 190 (7,3%) 100 (3%)	2,68 3,46 7,89 3,62

## Заключение

Предложена конструкция четырехдиапазонной PIF-антенны, работающей в частотных диапазонах 824 ... 894 МГц (3G UMTS), 1910 ... 1990 МГц (3G UMTS), 2500 ... 2690 МГц (4G LTE) и 3300 ... 3400 МГц (4G WiMAX). Проведено исследование влияния параметров антенны (высоты между двумя подложками, ширины плоскости короткого замыкания и ширины подложки) на ее характеристики и выявлены их оптимальные значения. По результатам электродинамического моделирования можно утверждать, что предложенная четырехдиапазонная антенна отвечает всем предъявляемым к ней требованиям и способна работать в малогабаритных абонентских терминалах систем сотовой связи.

## Литература

1. Денисов Д. Что вы знаете про антенны в вашем смартфоне? – URL: <https://nag.ru/material/37244>.
2. Fujimoto K., James J. R. Mobile Antenna Systems Handbook, 2nd edition. – ArtechHouse, 2001. – 680 p. – URL: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/558221>.
3. Буй Као Нинь. Малогабаритные диапазонные печатные антенны сотовых телефонов: специальность 05.12.07: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Буй Као Нинь. – М.: МАИ, 2015. – 107 с.
4. Сравнение методов электрической перестройки антенн для сотовых телефонов / А. Д. Григорьев, Б. О. Джалилов // Известия вузов России. Радиоэлектроника, 2017. – № 1. – С. 35 – 39.
5. Mobile Phone Antenna Design / Nazem Alsmadi, Khalid Saif // Bachelor thesis Electrical engineering with emphasis on telecommunication. Sweden. – 25.05.2015. – URL: <https://manualzz.com/doc/17613698/mobile-phone-antenna-design-andamp%3B-by>.

6. Многодиапазонные антенны современных мобильных телефонов / В. И. Слюсар // Радиоаматор, 2005. – № 1. – С. 50 – 51.

7. Многодиапазонные антенны мобильных средств связи / В. И. Слюсар // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес, 2006. – № 8. – С. 90 – 96.

8. Антенны PIFA для мобильных средств связи. Многообразие конструкций / В. И. Слюсар // Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 2007. – № 1. – С. 64 – 74.

9. Praveen Kumar Malik. Planar Antennas: Design and Applications. CRC Press, 2021. – 365 p.

10. PIFAS antennas design for mobile communications / Belhadeff Y., Boukli Hacene N. // International Workshop on Systems, Signal Processing and their Applications, WOSSPA. IEEE, 2011. – P. 119 – 122. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5931429>. – DOI:10.1109/WOSSPA.2011.5931429.

11. Folded and slotted internal antenna design for 3g IMT-2000 mobile handsets / See C. H., Abd-Alhameed R. A., Zhou D., Ramli K. N., McEwan N. J., Excell P. S. // Microwave and Optical Technology Letters, 2010. – 52 (7). – P. 1549 – 1553.

12. Miniature dual frequency half planar inverted FL-antenna for WLAN/cellular applications / See C. H., Abd-Alhameed R. A., Zhou D., Elkhazmi E. A., Abusitta M. M., Ramli K. N., Excell P. S. // In 2009 Asia Pacific Microwave Conference. IEEE. – December, 2009. – P. 2802 – 2804.

13. A dual band PIFA antenna for GSM and GPS applications / Bousselemi A., Jmai B., Gharsallah A. // In 2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS). IEEE. – March, 2017. – P. 1 – 4.

14. Dual-band planar inverted-F antenna for application in ISM, HIPERLAN, and UNII / Liu H. X., Chen Y. C., Wu C. Y., Chiu P. T. // In The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014). IEEE. – April, 2014. – P. 2372 – 2374.

15. Low SAR planar inverted-F antenna for mobile phone / Hossain M. I., Faruque M. R. I., Islam M. T. // 2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEES). IEEE, 2016. – P. 572 – 576. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7888111>. – DOI: 10.1109/ICAEES.2016.7888111.
16. A low cost tri-band microstrip patch antenna for GPS application // Supriya A. S., Rajendran J. // In 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium-Fall (PIERS-FALL). IEEE. – November, 2017. – P. 60 – 65.
17. Stacked tri-band microstrip patch antenna / Tian Lu et al. // 2017 IEEE 5th International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC-Beijing). IEEE, 2017. – P. 1 – 3. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8260427>. – DOI: 10.1109/EMC-B.2017.8260427.
18. A novel design of tri-band patch antenna for GSM/WiFi/WiMAX applications / Sharma D., Hashmi M. S. // In 2014 IEEE International Microwave and RF Conference (IMaRC). IEEE. – December, 2014. – P. 156 – 158.

Поступила в редакцию 02.02.2022

**Ферас Хабиб Рамах**, магистр.

**Антон Александрович Васин**, кандидат технических наук, доцент.

**Олег Васильевич Терехин**, кандидат технических наук, доцент.

**Леонид Иванович Пономарев**, доктор технических наук, профессор.

T.: (499)158-47-40.

E-mail: [mai4062@mail.ru](mailto:mai4062@mail.ru).

(Московский авиационный институт (МАИ (НИУ))).

**Алаа Алдин Сархан**, кандидат технических наук, доцент,

e-mail: [alaa.sarhan@hiast.edu.sy](mailto:alaa.sarhan@hiast.edu.sy).

(Higher Institute for Applied Sciences and Technology (HIAST)).

## MULTIBAND PLANAR ANTENNA FOR CELLULAR COMMUNICATION

**Feras Habib Ramakh, A. A. Vasin, O. V. Terekhin,  
L. I. Ponomarev, Alaa Aldin Sarhan**

**C**urrently, there is an increased demand for multi-band antennas in cellular communication systems, because using multiple single band antennas requires a lot of space and is not always possible in mobile devices. The integration of a multi-band antenna into a mobile communication system allows you to take full advantage of the various ranges of communication systems while minimizing the amount occupied by it.

The article proposes a quad-band PIFA antenna operating in the frequency ranges 824 ... 894 MHz (3G UMTS – FDD, BAND 5), 1910 ... 1990 MHz (3G UMTS – TDD, BAND 36-37), 2500 ... 2690 MHz (4G LTE – FDD, BAND 7) and 3300 ... 3400 MHz (4G WiMAX – TDD).

**Keywords:** quad-band, multi-band, planar antenna, compact, PIFA, cellular communication, mobile communication.

### References

1. Denisov D. What do you know about antennas in your smartphone? – URL: <https://nag.ru/material/37244>.
2. Fujimoto K., James J. R. Mobile Antenna Systems Handbook, 2nd edition. – ArtechHouse, 2001. – 680 p. – URL: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/558221>.
3. Bui Kao Nin. Small Range Printed Cell Phone Antennas : specialty 05.12.07: : thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences / Bui Kao Nin. – M.: MAI, 2015. – 107 p.
4. Comparison of Electrical Tuning Methods for Cell Phone Antennas / A. D. Grigorev, B. O. Dzhililov // Bulletin of Russia Federation Universities. Radio engineering, 2017. – No. 1. – P. 35 – 39.
5. Mobile Phone Antenna Design / Nazem Alsmadi, Khalid Saif // Bachelor thesis Electrical engineering with emphasis on telecommunication. Sweden. – 25.05.2015. – URL: <https://manualzz.com/doc/17613698/mobile-phone-antenna-design-andamp%3B--by>.
6. Multi-band antennas of modern mobile phones / V. I. Sliusar // Radioamatr, 2005. – No. 1. – P. 50 – 51.
7. Multi-band mobile communication antennas / V. I. Sliusar // ELECTRONICS: Science, Technology, Business, 2006. – No. 8. P. 90 – 96.
8. PIFA antennas for mobile communications. Variety of designs / V. I. Sliusar // Electronics: Science, Technology, Business, 2007. – No. 1. – P. 64 – 74.
9. Praveen Kumar Malik. Planar Antennas: Design and Applications. CRC Press, 2021. – 365 p.
10. PIFAS antennas design for mobile communications / Belhadef Y., Boukli Hacene N. // International Workshop on Systems, Signal Processing and their Applications, WOSSPA. IEEE, 2011. – P. 119 – 122. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5931429>. – DOI:10.1109/WOSSPA.2011.5931429.

11. Folded and slotted internal antenna design for 3g IMT-2000 mobile handsets / See C. H., Abd-Alhameed R. A., Zhou D., Ramli K. N., McEwan N. J., Excell P. S. // Microwave and Optical Technology Letters, 2010. – 52 (7). – P. 1549 – 1553.
12. Miniature dual frequency half planar inverted FL-antenna for WLAN/cellular applications / See C. H., Abd-Alhameed R. A., Zhou D., Elkhazmi E. A., Abusitta M. M., Ramli K. N., Excell P. S. // In 2009 Asia Pacific Microwave Conference. IEEE. – December, 2009. – P. 2802 – 2804.
13. A dual band PIFA antenna for GSM and GPS applications / Bousselmi A., Jmai B., Gharsallah A. // In 2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS). IEEE. – March, 2017. – P. 1 – 4.
14. Dual-band planar inverted-F antenna for application in ISM, HIPERLAN, and UNII / Liu H. X., Chen Y. C., Wu C. Y., Chiu P. T. // In The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014). IEEE. – April, 2014. – P. 2372 – 2374.
15. Low SAR planar inverted-F antenna for mobile phone / Hossain M. I., Faruque M. R. I., Islam M. T. // 2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEES). IEEE, 2016. – P. 572 – 576. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7888111>. – DOI: 10.1109/ICAEES.2016.7888111.
16. A low cost tri-band microstrip patch antenna for GPS application // Supriya A. S., Rajendran J. // In 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium-Fall (PIERS-FALL). IEEE. – November, 2017. – P. 60 – 65.
17. Stacked tri-band microstrip patch antenna / Tian Lu et al. // 2017 IEEE 5th International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC-Beijing). IEEE, 2017. – P. 1 – 3. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8260427>. – DOI: 10.1109/EMC-B.2017.8260427.
18. A novel design of tri-band patch antenna for GSM/WiFi/WiMAX applications / Sharma D., Hashmi M. S. // In 2014 IEEE International Microwave and RF Conference (IMaRC). IEEE. – December, 2014. – P. 156 – 158.

**Feras Khabib Ramakh**, *Master.*

**Anton Aleksandrovich Vasin**, *Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor.*

**Oleg Vasilevich Terekhin**, *Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor.*

**Leonid Ivanovich Ponomarev**, *Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor,*

*tel. +7 (499) 158-47-40, e-mail: mai4062@mail.ru.*

*(Moscow Aviation Institute (MAI (NRU))).*

**Alaa Aldin Sarkhan**, *Candidate of Technical Sciences (Ph. D.),*

*Associate Professor, e-mail: alaa.sarhan@hiast.edu.sy.*

*(Higher Institute for Applied Sciences and Technology (HIAST)).*