

А.Д. Григорьев, Б.О. Джалилов
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет «ЛЭТИ»

Сравнение методов электрической перестройки антенн для сотовых телефонов

Описываются различные методы электрической перестройки частоты антенн для мобильных телефонов, работающих в нескольких диапазонах частот LTE. Предложена антенна типа PIFA, содержащая высокочастотные и низкочастотные ветви. Элементы перестройки частоты подключены к низкочастотной ветви. Предлагаемая антенна работает на одном из четырех низкочастотных полос в зависимости от состояния переключающего элемента, сохраняя при этом настройки в диапазоне высоких частот. В качестве переключателя используются: переменный цифровой конденсатор, варактор и PIN диод. Сравнение результатов моделирования показали, что PIN диод обеспечивает наилучшую производительность, показывая 36 ... 60% КПД в низких диапазонах частот и 78% в высокочастотном диапазоне. Компьютерное моделирование антенны проводилось с помощью программы RFS.

Ключевые слова: антенны, переменные конденсаторы, варакторные диоды, р-і-п диоды.

Конструкторы антенных систем для современных мобильных телефонов сотовой связи столкнулись с серьезными техническими проблемами, потому что антенна должна быть, с одной стороны, многофункциональной и эффективной и, с другой стороны, маленькой и простой в производстве. Антенны сотового телефона также должны поддерживать несколько стандартов беспроводной связи, включая GSM 850/900 и DCS / PCS / WCDMA. Кроме того, стандарт LTE в последнее время стала одним из ключевых технологий для мобильных услуг беспроводной связи, так как LTE обеспечивает более высокую пропускную способность системы и максимальную скорость передачи данных.

В Таблице 1 приведены несколько диапазонов частот, часто используемых в стандартных системах LTE. Как правило, телефон работает одновременно в низкочастотных (НЧ) и высокочастотных (ВЧ) диапазонах. Использование нескольких антенн, настроенных на различные полосы, неэффективно из-за отсутствия свободного места в телефоне. Более эффективно применять перестраиваемую антенну, которую можно с успехом использовать в системах мобильной связи. Ее характеристики могут быть приспособлены для достижения селективности по частоте, по ширине полосы, а также поляризации и коэффициенту усиления. Это приводит к значительному сокращению общего размера многополосных систем беспроводной связи.

Таблица 1

№ п/п	Название диапазона	Центральная частота, МГц	Диапазон частот, МГц
1	B17	725	704-746
2	B13	766.5	746-787
3	B20	826.5	791-862
4	B5-B8	892	824-960
5	B7	2595	2500-2690

Для перестройки рабочей частоты антенны можно использовать переменные цифровые конденсаторы (ПЦК), варакторные диоды (ВД), PIN диоды или электромеханические переключатели (МЭМС). Электромеханические переключатели были использованы для перестройки резонаторной антенны в [1]. В ней используется копланарный волновод, нагруженный МЭМС с конденсаторами. Однако, высокие значения тока смещения, размеры антенны и сложности изготовления делает этот метод малоприменимым для наших случаев.

Два прототипа антенны на КМОП и МЭМС с различными размерами рассматриваются и сравниваются в [2]. Для перестройки антенны были также использованы переменные цифровые конденсаторы. Результаты показали, что антенна с МЭМС на основе ПЦК работает с большей эффективностью. К сожалению, полоса пропускания в обоих случаях является довольно узкой. Антенна, перестраиваемая варактором в диапазоне 1,9...2.1 ГГц, также описана в работе [2]. Однако, эта антенна не совместима со стандартом LTE.

В работе [3] рассматривается перестраиваемая PIFA антенна с использованием PIN-диода. Антенна может быть настроена на разные диапазоны частот путем переключения PIN-диода. Когда PIN-диод находится в выключенном состоянии, антенна настроена на полосу низких частот. Когда PIN-диод включен, антенна становится настроенной на полосы USPCS и WiMAX. Описанная антенна имеет сравнительно большой размер, что ограничивает ее использование в современных мобильных телефонах.

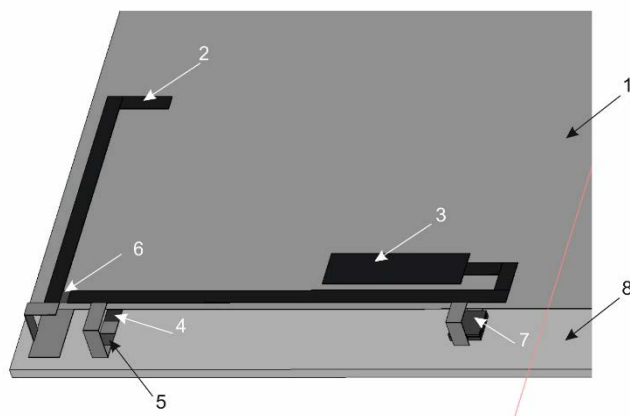


Рис. 1. Антенна сотового телефона.

В данной работе для достижения этой цели была сконструирована антенна типа PIFA содержащая две ветви, одна из которых настроена на высокочастотный диапазон В7, а другая – на низкочастотные диапазоны В5...В20 (рис. 1). Антенна содержит металлизацию 1, ВЧ ветвь 2, НЧ ветвь 3, порт возбуждения 4, согласующие LC-цепи 5, 6, элемент перестройки частоты 7, носитель FR4 8. Между НЧ и ВЧ ветвями включена развязывающая LC цепь. Элемент переключения и согласующие элементы наносятся на носитель из FR4. Антенна возбуждается источником напряжения

(портом) с внутренним сопротивлением 50 Ом, который включен между металлизацией печатной платы и антенной. Металлизация имеет размеры обычного мобильного телефона. Последовательная LC цепь служит для согласования антенны с источником. Элемент перестройки частоты подключен к низкочастотной ветви. Расстояние от заземленного конца антенны до элемента перестройки оптимизировалось с помощью программы RFS.

В данной работе исследовались следующие элементы перестройки частоты: переменный цифровой конденсатор типа PE2304 фирмы Peregrine Semiconductors [4], варактор типа SMV2022 фирмы Skyworks [5] и PIN диод типа HSMP4820 фирмы Hewlett Packard [6]. Эквивалентные схемы этих элементов показана на рис. 2. Значения параметров схем приведены в таблицах 2, 3 и 4.

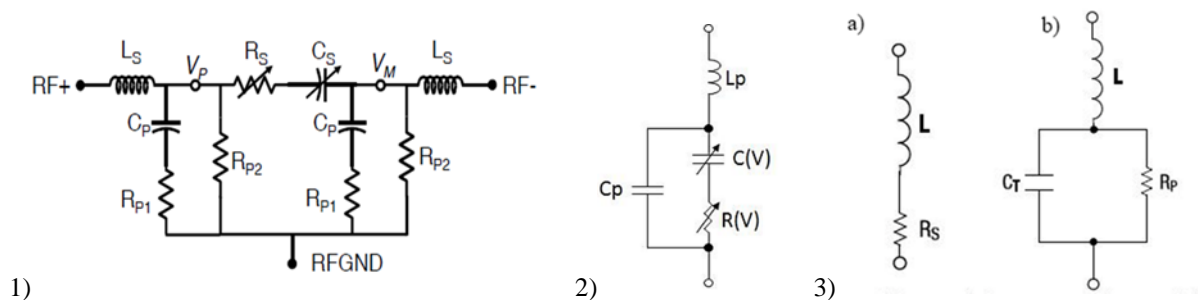


Рисунок 2. Эквивалентные схемы элементов перестройки частоты. 1-ПЦК, 2-Варактор, 3- PIN диод, а) прямое смещение, б) обратное смещение.

Таблица 2

Элемент	Размерность	Значение	Элемент	Размерность	Значение
C_s	пФ	$0,129s+0,6$	R_{p2}	кОм	10
R_s	Ом	$20/(s+20/(s+0,7))+0,7$	C_p	пФ	0,5
R_{p1}	Ом	7	L_s	нГн	0,27

Параметр s определяет состояние конденсатора и принимает значения $0...31$

Таблица 3

L_p , нГн	C_p , пФ	$C(v)$, пФ	$R(v)$, Ом
1,5	0,17	0,73-7,5	2,1-5,5

Таблица 4

PP	L_p , нГн	C_t , пФ	R_p , Ом
Вкл.	0,75	-	0,6
Выкл.	0,75	0,8	2500

На рис. 3 показана частотная зависимость коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН). Как видно, с помощью этих элементов перестройки частот можно достичь переключения между частотами 724, 775, 827, 892 МГц, что соответствует заданным LTE диапазонам. Положение высокочастотной полосы при такой перестройке практически не меняется. КСВН в низкочастотных и в высокочастотном диапазонах не превосходит 3.

На рис. 3, а показана зависимость коэффициента стоячей волны (КСВ) антенны для 4-х состояний цифрового конденсатора 29, 16, 7 и 5, соответствующих значениям емкости $C_s = 2.15; 2.54; 3.05; 3.7$ пФ. Ширина полосы в НЧ диапазонах составляет 7,8...10,6 %, а в ВЧ диапазоне – 9,2%.

На рис 3, б показаны результаты по КСВН для варакторного диода. Как можно заметить, антенна перестраивается путем изменения напряжения смещения варактора от -1 до -8.5 V с небольшим изменением в ВЧ диапазоне. Это соответствует изменению емкости диода от 1,35 до 5 пФ. Полоса пропускания в НЧ диапазонах достигает до 11,6 %, а в ВЧ диапазоне – 8,9%.

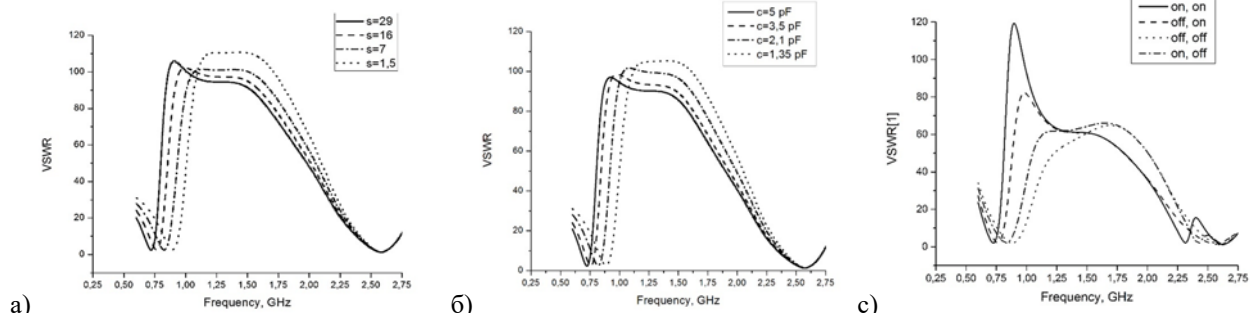


Рисунок 3. Зависимости КСВН от частоты. а) для ПЦК, б) для ВД, с) для PIN диода

Наилучшие результаты продемонстрировала схема переключения с использованием PIN диодов. Ширина полосы в НЧ диапазонах составила от 12 до 19,4 %, а в ВЧ диапазоне – 12,2% (см. рис. 3, с).

На рис. 4 изображены зависимости радиационного КПД антенны. Радиационный КПД антенны с использованием ПЦК в НЧ диапазонах составляет 27...56 %, а в ВЧ диапазоне он достигает 80% (см. рис. 4, а). При использовании варакторного диода эти значения составляют в НЧ диапазоне 20...57%, в ВЧ диапазоне –80% (см. рис. 4, б). Наилучшие результаты получены в схеме с PIN диодами. КПД антенны увеличивается с ростом частоты от 36 % до 60% в области низких частот, и до 78% на высоких частотах (см. рис. 4с).

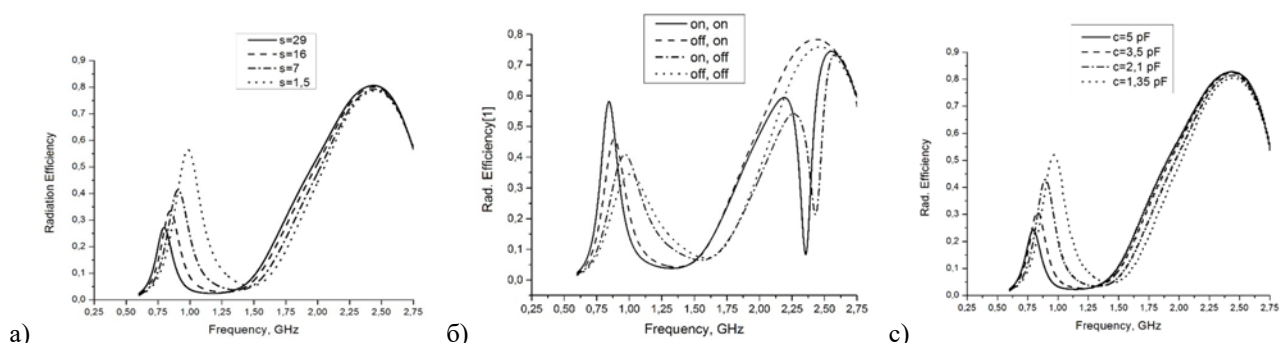


Рисунок 4. Зависимости радиационного КПД от частоты: а) для ПЦК, б) для ВД, с) для PIN диода

По результатам сравнения можно сделать вывод о том, что благодаря очень низкому сопротивлению PIN диода в открытом состоянии, получены результаты, соответствующие всем требованиям LTE стандарта.

Библиографический список

1. Erdil, Emre; Topalli, K.; Unlu, M.; Civi, O.A.; Akin, T., "Frequency Tunable Microstrip Patch Antenna Using RF MEMS Technology," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol.55, no.4, pp.1193,1196, April 2007.
2. J. Ilvonen, R. Valkonen, J. Holopainen, and V. Viikari, "Multiband frequency reconfigurable 4G handset antenna with MIMO capability," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 148, pp. 233-243, 2014.
3. J. H. Lim, G. T. Black, Y. I. Ko, C. W. Song, T. Y. Yun, "A Reconfigurable PIFA Using a Switchable PIN-Diode and Fine-Tuning Varactor for USPCS/ WCDMS/ m-WiMAX/ WLAN" *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, Vol. 58, No. 7, pp. 2404-2411, April 2010.
4. <http://www.psemi.com/products/digitally-tunable-capacitors-tc/pe62304>
5. <http://www.skyworksinc.com/Product/571/SMV2022-004LF>
6. <http://www.avagotech.com/docs/AV02-1395EN>
7. Григорьев А.Д., Салимов Р.В., Тихонов Р.И. Моделирование антенн сотовых телефонов методом векторных конечных элементов. // РЭ, 2012, Т. 57, № 3, с. 261-270.