

M. E. Shevchenko, V. N. Malyshev, D. N. Fayzullina
 Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

Joint detection and direction finding using a switched antenna array

Algorithms for signals joint detection and direction at frequency area in a wide frequency band with no overlap of spectra of adjacent channels obtained through switched circular antenna array are developed and researched. The energy and the computational advantage of the algorithm with the primary detection on amplitude spectrum and the secondary direction finding at samples containing signal components, before the algorithm with the primary direction finding in all frequency samples with subsequent detection of the frequency samples that contain signal components is showed.

Switched circular antenna array, joint detection and direction finding, bearing and elevation angle evaluation, VHF-band

Статья поступила в редакцию 15 сентября 2015 г.

УДК 621.371

А. Д. Григорьев, Б. О. Джалилов
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)

Электрически перестраиваемая антенна для сотовых телефонов

Представлены результаты разработки перестраиваемой антенны для сотовых телефонов, работающих в стандарте LTE. Перестройка осуществляется с помощью переменного конденсатора с цифровым управлением. Антенну перестраивают на один из четырех низкочастотных диапазонов, при этом сохраняя настройку на высокочастотный диапазон. Компьютерное моделирование антенны проведено с помощью программы RFS.

Антенна, сотовый телефон, переменный конденсатор, компьютерное моделирование

Современные сотовые телефоны (смартфоны) являются одними из самых сложных радиоэлектронных устройств по количеству элементов в единице объема. В них остается очень мало места для размещения антенны – одного из наиболее важных элементов, определяющих качество приема и передачи сигнала – основное назначение телефона. В связи с переходом на новый стандарт LTE антенна должна обеспечивать прием и передачу сигналов в нескольких диапазонах частот, иметь в каждом диапазоне заданную ширину полосы пропускания и высокий КПД. Необходимо также во всех диапазонах обеспечить безопасный уровень удельной мощности рассеяния электромагнитной энергии, воздействующей на голову и руки пользователя. Учитывая, что в телефоне нет места для размещения нескольких антенн, целесообразно использовать электрически перестраиваемую антенну, способную работать в нескольких частотных диапазонах.

Электрически перестраиваемые антенны сотовых телефонов появились сравнительно недавно. Так, в [1] предложена антенна, для перестрой-

ки которой на две частоты используются отрезки линий передачи разной длины, подключаемые к антенне с помощью переключателя на полевом транзисторе. Антенна, перестраиваемая варактором в диапазоне 1.8...2.4 ГГц, описана в [2]. Однако эти антенны не совместимы со стандартом LTE.

В табл. 1 приведены параметры некоторых диапазонов связи стандарта LTE. Проектируемая антенна должна перестраиваться на один из низкочастотных диапазонов (B17–B8), сохраняя настройку на высокочастотный диапазон B7.

Для достижения этой цели сконструирована антенна, геометрическая модель которой, созданная в программной среде RFS [3], показана на рис. 1, а. Для удобства рассмотрения часть элементов конструкции (нижняя крышка, аккумулятор и ряд других) не показаны. В среде RFS сосредоточенные элементы R , L , C и их параллельное соединение, а также источники возбуждения (порты) задаются в виде прямоугольников, на которых определяется направление протекания тока.

Таблица 1

Диапазон	Центральная частота, МГц	Диапазон частот, МГц
B17	725.0	704.0...746.0
B13	766.5	746.0...787.0
B20	826.5	791.0...862.0
B5–B8	892.0	824.0...960.0
B7	2595.0	2500.0...2690.0

Для размещения антенны разработчиками телефона выделена площадь, ограниченная штриховой линией на рис. 1, а. Поэтому была выбрана малогабаритная антенна типа PIFA, содержащая две ветви. Ветвь 1 настроена на низкочастотные диапазоны B5–B20, а ветвь 2 – на высокочастотный диапазон B7. Антенна нанесена на внутреннюю сторону задней крышки телефона (на рис. 1, а крышка не показана). Она возбуждается источником напряжения (портом) 3 с внутренним сопротивлением 50 Ом, который включен между металлизацией печатной платы 4 и антенной (рис. 1, б). Последовательно включенный конденсатор С служит для согласования антенны с источником. Высокочастотная ветвь соединяется с источником напряжения узкой полоской 5, играющей роль индуктивности и служащей для развязки высокочастотной и низкочастотной ветвей. Изогнутая форма ветвей выбиралась исходя из доступного места для антенны.

К низкочастотной ветви подключен перестраиваемый конденсатор б (рис. 1, а) с цифровым управлением типа PE-62304 фирмы "Peregrine Semiconductor"¹. К достоинствам этого конденсатора относятся высокая допустимая СВЧ-мощность, низкий уровень потерь, линейность, малый ток управления (30 мкА при 2.8 В) и малый размер (2 × 2 × 0.45 мм³). Эквивалентная схема конденсатора показана на рис. 2. Значения параметров схемы приведены в табл. 2. Параметр $s = 1, 31$ определяет значения элементов схемы конденсатора C_s, R_s . Элементы согласующей цепи и конденсатор расположены на подложке 7

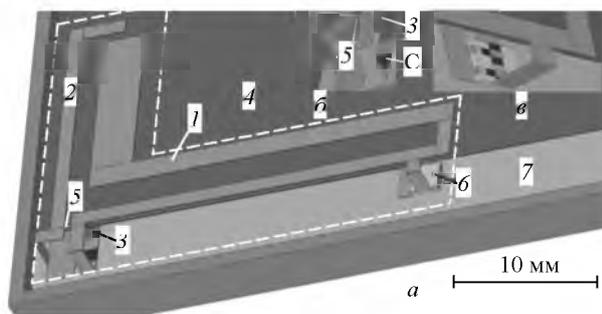


Рис. 1

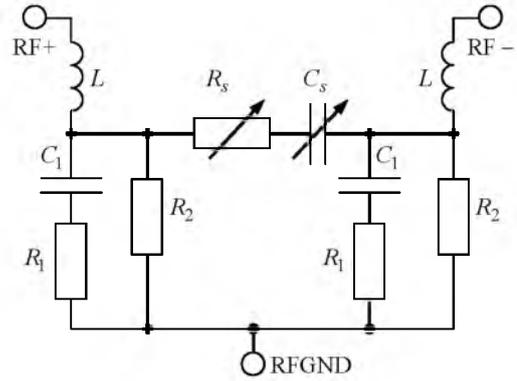


Рис. 2

Таблица 2

Элемент	Значение	Элемент	Значение
C_s , пФ	$0.129s + 0.6$	R_2 , кОм	10.00
R_s , Ом	$\frac{20}{s + 20/(s + 0.7)} + 0.7$	C_1 , пФ	0.50
R_1 , Ом	7.00	L , нГн	0.27

из диэлектрика FR4 с размерами 60 × 5 × 0.5 мм³. Линейные размеры конденсатора в модели соответствуют его физическим размерам.

Моделирование в программе RFS проводилось с целью определения оптимального места включения перестраиваемого конденсатора, параметров согласующей цепи и геометрических параметров антенны. Конденсатор был включен между низкочастотной ветвью антенны и землей и моделировался схемой, состоящей из сосредоточенных элементов (рис. 1, в; конденсатор показан со снятой верхней крышкой). Сосредоточенные элементы вводились в конечно-элементную тетраэдральную сетку. Общее число тетраэдров составляло около 80 000.

На рис. 3 показана частотная зависимость коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) оптимизированной антенны для четырех значений параметра $s = 12, 15, 19$ и 25, соответствующих значениям емкости $C_s = 2.15, 2.54, 3.05, 3.7$ пФ. В низкочастотном диапазоне значения резонансных частот, соответствующих минимуму КСВН, практически совпадают с требуемыми значениями (табл. 1). КСВН в низкочастотных и высокочастотном диапазонах не превосходит 3. Ширина рабочей полосы частот, определенная по уровню КСВН = 3, составляет 80...120 МГц, что соответствует ширине диапазонов B17–B20, но несколько меньше, чем ширина объединенного диапазона B5–B8.

На рис. 4 изображены зависимости радиационного КПД антенны для тех же значений емкости, рассчитанные по программе RFS. Радиаци-

¹ <http://www.psemi.com/products/product-catalogs>

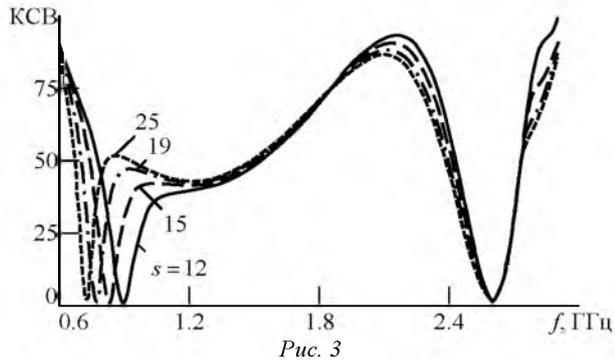


Рис. 3

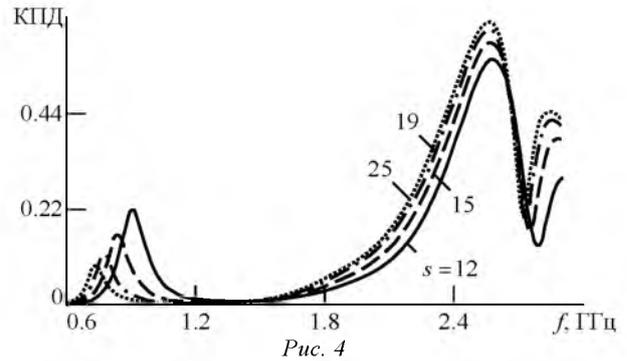


Рис. 4

онный КПД антенны в низкочастотных диапазонах составляет 11...22 %, а в высокочастотном диапазоне он достигает 65 %, что превышает требования технического задания.

Следует отметить, что при максимальной мощности передатчика около 100 мВт высокочастотное напряжение на элементе настройки по результатам моделирования составляет 6...10 В. Поэтому варакторы с малым напряжением пробоя не могут использоваться для перестройки частоты антенны.

Для расширения полосы частот необходимо уменьшать добротность антенны за счет дальнейшего увеличения радиационного КПД, а также подбора места подключения антенны к металлизации печатной платы. Работа по расширению рабочей полосы частот антенны в каждом из пяти диапазонов и увеличения радиационного КПД антенны в низкочастотных диапазонах в настоящее время продолжается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kivakas O., Ollikainen J., Vainikainen P. Frequency-tunable internal antenna for mobile phones // Proc. 12th Int. Symp. on antennas. 2002. № 2. P. 53–56.
2. Nguyen V.-A., Bhatti R.-A., Park S.-O. A simple PIFA-based tunable internal antenna for personal com-

munication handsets // IEEE ant. and wireless prop. letters. 2008. Vol. 7. P. 130–133.

3. Григорьев А. Д., Салимов Р. В., Тихонов Р. И. Моделирование антенн сотовых телефонов методом векторных конечных элементов // Радиоэлектроника. 2012. Т. 57, № 3. С. 261–270.

A. D. Grigoriev, B. O. Djalilov

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

Electrically tunable antenna for mobile phones

First results of the development of a tunable antenna for cellular phones operating in the standard LTE are presented. The antenna consists of high- and low-frequency branches, the latter one is tuned by digital-controlled capacitor. Computer simulation of the antenna was conducted by using the RFS. Simulation results show that low-frequency antenna branch can be tuned without detuning high-frequency one. Radiation efficiency of the antenna in high-frequency band yields 60 % or more, while in low-frequency range efficiency drops to 20...30 %. The work on improving these results is now continuing.

Antenna, smartphone, variable condenser, computer simulation

Статья поступила в редакцию 10 июля 2015 г.