

11. Алышев Ю. В., Маслов О. Н., Рябушкин А. В. Способ оценки эффективности случайной антенны // Патент RU 2372623. Заявл. 03.03.2008, опубл. 10.11.2009. Бюл. № 31.
12. Алышев Ю. В., Маслов О. Н., Рябушкин А. В. Способ определения параметров случайной антенны // Патент RU 2374655. Заявл. 10.01.2008, опубл. 27.11.2009. Бюл. № 33.
13. Маслов О. Н., Борякова Е. С., Рябушкин А. В. Способ определения безопасности электромагнитного фона // Патент RU 2401433. Заявл. 01.09.2008, опубл. 10.10.2010. Бюл. № 28.
14. Маслов О. Н., Алышев Ю. В., Рябушкин А. В. Способ определения интермодуляционных параметров случайной антенны // Патент RU 2429495. Заявл. 20.02.2008, опубл. 20.09.2011. Бюл. № 26.
15. Маслов О. Н., Раков А. С., Рябушкин А. В. Способ определения затухания сигнала в распределенной случайной антенне // Патент RU 2393493. Заявл. 06.04.2009, опубл. 27.06.2009. Бюл. № 18.
16. Алышев Ю. В., Маслов О. Н., Раков А. С., Шашенков В. Ф. Способ информационной защиты случайной антенны // Патент RU 2474966. Заявл. 30.11.2011, опубл. 10.02.2013. Бюл. № 4.
17. Маслов О. Н., Заседателева П. С. Способ защиты информации в распределенной случайной антенне // Патент RU 2492581. Заявл. 30.11.2011, опубл. 10.09.2013. Бюл. № 25.
18. Маслов О. Н., Щербакова Т. А. Способ защиты распределенной случайной антенны // Патент RU 2503132. Заявл. 30.11.2011, опубл. 27.12.2013. Бюл. № 36.
19. Алышев Ю. В., Маслов О. Н., Шашенков В. Ф. Способ информационной защиты распределенной случайной антенны // Патент RU 2470465. Заявл. 20.12.2010, опубл. 20.12.2012. Бюл. № 35.
20. Маслов О. Н., Шашенков В. Ф., Борисова И. Е. Устройство для информационной защиты распределенной случайной антенны // Патент RU 2502195. Заявл. 02.09.2011, опубл. 20.12.2013. Бюл. № 35.

Получено 13. 08. 14

УДК 621.396.677

## ДВУХДИАПАЗОННЫЕ ПЕЧАТНЫЕ ДИПОЛЬНЫЕ АНТЕННЫ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ

**А. П. Горбачев**, профессор Новосибирского государственного технического университета (НГТУ), д. т. н.; [apgor@ngs.ru](mailto:apgor@ngs.ru)

**С. Ю. Железко**, магистрантка НГТУ; [sveta.zhelezko@aiesec.net](mailto:sveta.zhelezko@aiesec.net)

**Н. В. Тарасенко**, аспирантка НГТУ; [NatalyaVTarasenko@gmail.com](mailto:NatalyaVTarasenko@gmail.com)

**Представлен численный анализ печатной двухдиапазонной дипольной антенны на основе симметрирующего устройства в форме «ласточкина хвоста» со сквозным металлизированным отверстием. Рассматриваются правила формирования диаграмм направленности, включая условие импедансного согласования в обоих частотных диапазонах. Экспериментальные результаты, полученные посредством российских технологий на российском диэлектрическом материале, верифицируют предлагаемую антенну.**

**Ключевые слова:** двухдиапазонная дипольная антенна, линейная поляризация, печатное исполнение.

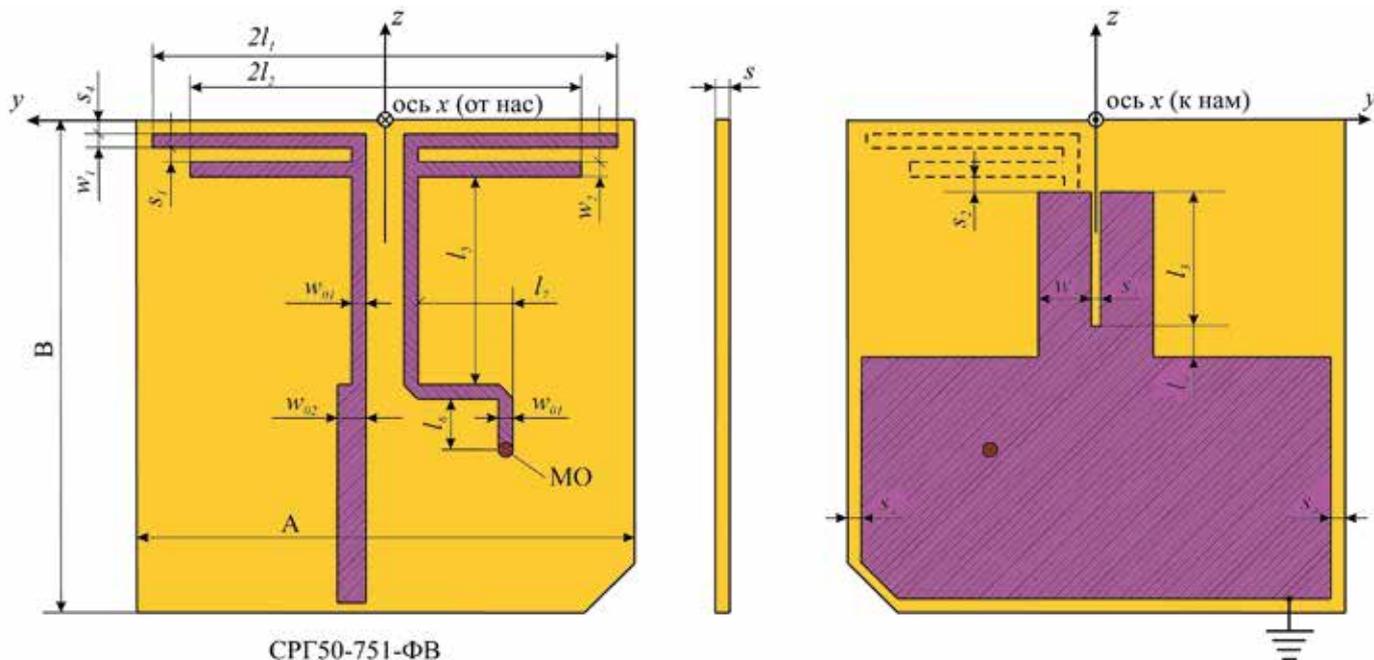
**Введение.** Известно, что дипольные антенны широко применяются для организации радиосвязи в мобильных телекоммуникационных системах с линейной поляризацией радиоволн [1]. При этом всё шире используется двухчастотный режим работы базовых излучающих модулей, когда одно симметрирующее устройство питает два разночастотных диполя, в результате чего создаются предпосылки для достижения преимуществ интегрально-групповой технологии микроэлектроники при модификации топологии модулей под конкретное техническое задание.

Ниже приведены результаты исследований потенциальных характеристик печатных двухдиапазонных дипольных антенн (ДДА) новой структуры диапазона 2–3 ГГц, когда в рамках одной полосковой заготовки интегрированного излучающего модуля реализованы два существенно (до 30%) разночастотных диполя при одном, пригодном для обоих диапазонов симметрирующем устройстве.

**Топология антенны.** Для интеграции на одной подложке обоих диполей и симметрирующего устройства использована печатная структура, предложенная в [2]. При этом она модифицирована для обеспечения (при необходимости) реконфигурации (т.е. изменения топологии проводящего рисунка) базовой версии переключением  $p-i-n$  диодов.

Модифицированная топология ДДА (рис. 1) реализована на обеих сторонах фольгированной заготовки размерами  $A \times B$  из материала ФАФ-4Д толщиной  $s = 1,5$  мм с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 2,5$ . Для однозначной ориентации фотошаблонов один из углов заготовки выполнен со скосом. Полосковая линия с шириной ступенек  $w_{01}$  и  $w_{02}$  является питающей и соединена с центральным штырьком коаксиально-полоскового перехода СРГ-50–751-ФВ, корпус которого соединен гальванически со сплошным заземленным фрагментом металлизации обратной стороны заготовки. Отличительная от патента [2] особенность анализируемой антенны — наличие в ней сквозного металлизированного отверстия (МО). Этим достигается гальваническое соединение вспомогательной полосковой линии шириной  $w_{01}$  с заземленной металлизацией обратной стороны, в результате чего создаются предпосылки для беспрепятственной установки и подачи питания по постоянному току на  $p-i-n$  диоды, обеспечивающие последующую реконфигурацию (при её необходимости) излучающей части интегрированного модуля.

Сама излучающая часть образована согласно [2] двумя разночастотными печатными диполями длиной  $2l_1$ ,  $2l_2$  и шириной  $w_1$ ,  $w_2$  соответственно, смежные кромки которых разнесены на расстояние  $s_1$ . Симметрирование диполей достигается широкополосным фрагментом топологии, в состав которого входит печатный пьедестал в форме «ласточкина хвоста» и вспомогательная, короткозамкнутая через металлизированное отверстие МО диаметром 1,6 мм полосковая линия. «Ласточкин хвост», представляющий собой по существу отрезок двух связанных линий на подвешенной подложке (т.е. на подложке без металлизации ее обратной стороны на участке взаимодействия линий отрезка длиной  $l_3$  при их ширине  $w_3$  и зазоре  $s_3$ ), является продолжением заземленной металлизации и соединяется с ним печатным



СРГ50-751-ФВ

Рис. 1. Топология двухдиапазонной печатной дипольной антенны

фрагментом  $l_4 \times (2w_3 + s_3)$ . Верхние (на рис. 1) концы отрезка разомкнуты и отстоят от нижней кромки высокочастотного (короткого) диполя длиной  $2l_2$  на расстоянии  $s_2$  при краевых технологических полях по периметру заготовки  $s_4 = 0,5$  мм.

**Моделирование.** В соответствии с общепринятой процедурой проектирования симметрирующих устройств [3] и оценивания электрических характеристик дипольных излучателей [4] все ключевые геометрические размеры полосковой структуры ДДА рассчитываются в рамках однодогового режима Т- или квази Т-волн для симметрирующей части модуля при строгом электродинамическом анализе характеристик печатных излучателей в заданном диапазоне частот. При указанном на рис. 1 направлении осей координат с использованием параметрической оптимизации

спроектирована ДДА на центральные частоты  $f_{01} = 2,36$  ГГц и  $f_{02} = 2,93$  ГГц со следующими размерами (в миллиметрах):

$$A = 60; B = 70; l_1 = 27; l_2 = 22;$$

$$l_3 = 16; l_4 = 2; l_5 = 20; l_6 = 8;$$

$$l_7 = 6; w_{01} = 2,3; w_{02} = 2,6;$$

$$w_1 = 2; w_2 = 1,8; w_3 = 4,7; s = 1,5;$$

$$s_1 = 1,5; s_2 = 0,8; s_3 = 1,1; s_4 = 0,5.$$

В полосах частот 2,32... 2,40 ГГц и 2,87... 2,98 ГГц изготовленная антенна при питании с использованием 50-омного коаксиального кабеля имела входной коэффициент стоячей волны  $K_{ст,в} \leq 1,5$  и характеризовалась на центральных частотах  $f_{01}$  и  $f_{02}$  диаграммами направленности по «основной» и «кросс» поляризациям (терминология согласно [4]), представленными на рис. 2 (частота  $f_{01}$ ) и рис. 3 (частота  $f_{02}$ ) сплошными и штриховыми линиями соответственно как для плоскости  $yoz$  электрического  $\vec{E}$ , так и плоскости  $xoz$  магнитного  $\vec{H}$  векторов.

**Выводы.** Полученные результаты свидетельствуют о перспективности описанной печатной двухдиапазонной дипольной антенны для проектирования компактных антенных систем мобильной радиосвязи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных решеток/ Под ред. Д.И. Воскресенского.— М.: Радиотехника, 2012.— 744 с.
2. Патент № 2432646 РФ, МПК: Н 01 Q 1/38. Двухдиапазонная печатная дипольная антенна/ Горбачев А.П., Евдокимов Т.А., Хлопина А.Г.//Изобретения.— 20011.— № 30.
3. Ерохин Г.А., Чернышов О.В., Козырев Н.Д., Кочержевский В.Г. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн/ Под ред. Г.А. Ерохина.— М.: Горячая линия — Телеком, 2004.— 491 с.
4. Ерохин Г.А., Кочержевский В.Г. Электрические характеристики петлевых вибраторов в диапазоне частот// Электросвязь.— 2000.— № 12.— С. 41–42.

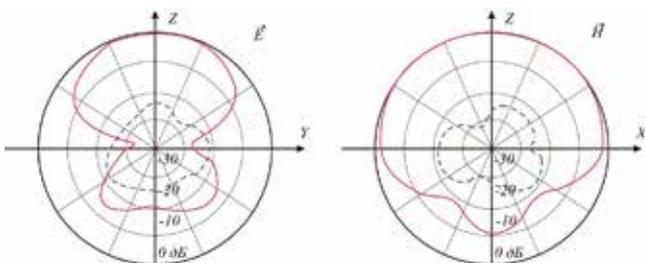


Рис. 2. Диаграммы направленности двухдиапазонной антенны в низкочастотном диапазоне

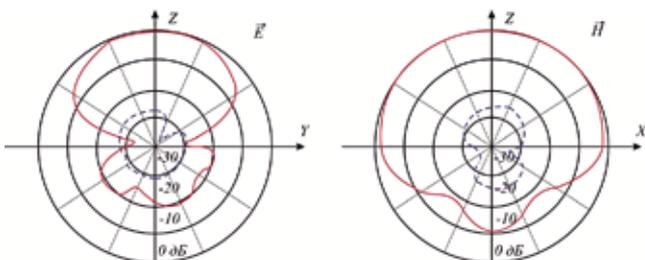


Рис. 3. Диаграммы направленности двухдиапазонной антенны в высокочастотном диапазоне