

УДК 621.396.67

# НЕЛИНЕЙНЫЕ СВОЙСТВА РЕКОН- ФИГУРИРУЕМЫХ АНТЕНН. ЧАСТЬ 1: МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕКОН- ФИГУРИРУЕМОЙ ДВУХЧАСТОТНОЙ АНТЕННЫ

**Я. Г. Сидоров**

Аспирант

Аспирант\*

Контактный тел.: 8-097-366-4-555, 8 (057) 702-14-30

E-mail: Yaroslav.Sydorov@gmail.com

**Д. С. Гавва**

Кандидат технических наук, доцент\*

Контактный тел.: 8 (057) 702-14-30

E-mail: GavvaDS@rambler.ru

\*Кафедра основ радиотехники

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

*Проведено моделювання двочастотної реконфігурованої антени. Досліджено вплив положення перемикачів на частотні залежності модуля коефіцієнта відбиття й спрямовані властивості антени без урахування нелінійних властивостей керуючих елементів. Зроблені висновки про найкращі позиції для розміщення антени на кришці ноутбука*

*Ключові слова: реконфігурована антена, моделювання, спрямовані властивості*

*Произведено моделирование двухчастотной реконфигурируемой антенны. Исследовано влияние положения переключателей на частотные зависимости модуля коэффициента отражения и направленные свойства антенны без учета нелинейных свойств управляющих элементов. Сделаны выводы о наилучших позициях для размещения антенны на крышке ноутбука*

*Ключевые слова: реконфигурируемая антенна, моделирование, направленные свойства*

*This article represents simulation of dual-frequency reconfigurable antennas. Influence of the switches states on the reflectivity modulus frequency dependences and on the directional properties of the antenna without taking into account control elements nonlinear properties is analyzed. The best positions for the placement antenna on a laptop cover are defined*

*Key words: reconfigurable antenna, simulation, directional properties*

## 1. Введение

В настоящее время наблюдается интерес к реконфигурируемым антеннам (РА) для современных средств беспроводной связи [1]. Применение РА предоставляет возможность существенного увеличения емкости сети связи, снижения межканальной интерференции, улучшения прохождения сигналов в каналах с замираниями. Одной из областей применения данного типа антенн являются беспроводные технологии передачи данных и доступа в Интернет.

Целью настоящей работы является анализ нелинейных свойств реконфигурируемой антенны, предназначенной для работы в нескольких диапазонах. За

основу для исследования была взята предложенная в [2] реконфигурируемая микрополосковая антенна, интегрируемая в общую структуру ноутбука, допускающая изменение как характеристики направленности, так и рабочей частоты. В качестве управляющих элементов для изменения конфигурации в ней использованы MEMS-переключатели [3-5], которые, как известно, обладают нелинейными свойствами, что, в результате, уменьшает соотношение сигнал/помеха.

Проведенные в [2] исследования неполные и требуют уточнений – отсутствуют исследования всех возможных конфигураций антенны, анализ влияния выбора положения переключателей на характеристики антенны и её поляризационные свойства. Поляри-

зационные свойства, а также влияние нелинейности характеристик управляющих элементов, будут рассмотрены во второй части статьи. В этой части статьи рассматриваются частотные зависимости коэффициента отражения и направленные свойства антенны без учета нелинейных свойств управляющих элементов.

## 2. Постановка задачи

Предложенная в [2] реконфигурируемая антенна представляет собой расположенную над экраном квадратную микрополосковую спираль имеющую один виток (рис.1). Общая длина спирали приблизительно равна длине волны для желаемой рабочей частоты и принята нами равной 80 мм. Первым элементом управления является переключатель, расположенный на расстоянии около четверти длины волны от точки питания. Он замыкает спираль на экран во включенном состоянии. Второй элемент управления – переключатель в разрыве спирали, размыкающий ее в выключенном состоянии. В [2] показано, что при включении первого переключателя и выключении второго антенна ведет себя как короткозамкнутый четвертьволновой резонатор с паразитным элементом (оставшаяся секция спирали), который способствует согласованию входного импеданса и созданию отклоненной на 450 диаграммы направленности (рис.2а). Изменение рабочей частоты антенны осуществляется только вторым переключателем. При этом антенна работает как разомкнутый одноволновый резонатор, что приводит к изменению рабочей частоты с 3,7 ГГц (при замкнутом переключателе) до 6 ГГц (при разомкнутом).

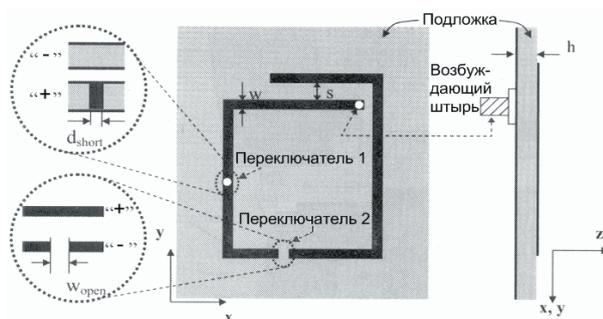


Рис. 1. Реконфигурируемая антенна с элементами управления [2]

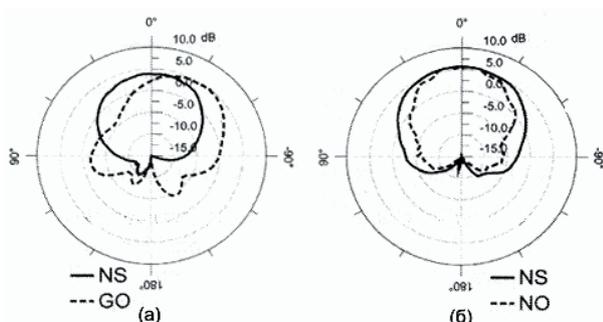


Рис. 2. Диаграммы направленности антенны для конфигураций с изменяемой диаграммой направленности (а) и частотой (б) [2]

Для исследования линейных свойств антенны обобщенная схема приемной РА [6], учитывающая свойства нелинейных элементов, упрощается до представленной на рис. 3 схемы.

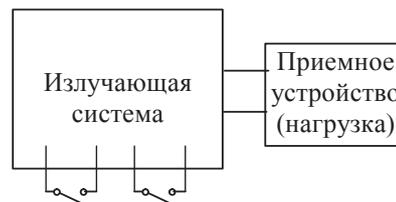


Рис. 3. Упрощенная схема РА совместно с внешними устройствами для исследования линейных свойств

Исходными данными для расчета характеристик РА являются парциальные диаграммы направленности и матрица собственных и взаимных сопротивлений. Для вычисления этих данных можно использовать различные методы, например, метод конечных элементов (FEM) [7], который, в частности, реализован в пакете программ HFSS. Он позволяет достаточно эффективно решать электродинамические задачи для объектов сложной структуры и сложной геометрической формы. В данной работе для получения парциальных диаграмм направленности и матрицы собственных и взаимных сопротивлений был применен пакет HFSS. Далее, по известным парциальным диаграммам направленности и матрице сопротивлений используя предложенную в [6] методику вычислялись характеристики исследуемой излучающей системы при различных сочетаниях положений переключателей.

## 3. Результаты исследований

Рассмотрим реконфигурируемую антенну, описываемую предложенной схемой. Сначала было произведено моделирование в линейном режиме излучающей системы (ИС), представленной на рис. 1. Подложка была выполнена из материала Duroid 5880 ( $\epsilon_r = 2,2$ ), размеры подложки были  $34 \times 36$  мм, толщина 3,2 мм. Длина проводника излучателя составляла 80 мм, т.е. была близка к длине волны на частоте 3,7 ГГц. На расстоянии, равном примерно четверти длины волны от начала проводника излучателя располагался переключатель, замыкающий излучатель на экран, который может быть замкнут или разомкнут, и на расстоянии, равном примерно половине длины волны от начала проводника излучателя располагался переключатель, который также может размыкаться или замыкаться, изменяя тем самым длину спирали. Возбуждение осуществлялось с помощью коаксиальной линии передачи. Затем было проведено моделирование ИС с целью оптимизации ее структуры и характеристик для получения согласования в заданных диапазонах частот современных средств связи - 2,5-2,7; 3,4-3,6; 4,9-6,4 ГГц. Были получены частотные зависимости модуля коэффициента отражения  $|S_{11}|$  и определены частоты, на которых достигается согласование  $|S_{11}| \leq -10$  дБ. Варьируемыми параметрами были длина спирали и положения переключателей. В результате анализа полученных зависимостей была выбрана конечная конфигурация,

при которой достигается наилучшее согласование в заданных диапазонах частот, и произведено ее полное моделирование. Для этого варианта РА длина спирали составила 83 мм. На расстоянии 19 мм от начала спирали был расположен первый переключатель, замыкающий ИС на экран, и на расстоянии 38 мм от начала спирали был расположен второй переключатель, изменяющий длину спирали. В дальнейшем для обозначения состояния переключателей использованы следующие символы: «+» - переключатель замкнут, «-» - переключатель разомкнут. Например, запись «+-» означает, что первый переключатель замкнут, а второй разомкнут.

Для каждой из конфигураций выбранного варианта антенны при возбуждении коаксиальной линией передачи были рассчитаны частотные зависимости модуля коэффициента отражения  $|S_{11}|$  (рис. 4, 5, 6, 7). Их анализ показывает, что частоты, на которых достигается наилучшее согласование, равны 2,51 и 2,54 ГГц для диапазона 2,5-2,7 ГГц при состояниях переключателей ++, +- и --; 3,49 ГГц для диапазона 3,4-3,6 ГГц при состояниях переключателей -+; 4,99 и 5,94 ГГц для диапазона 4,9-6,4 ГГц при состояниях переключателей - и -+. Для этих частот также вычислены диаграммы направленности антенны (ДН) в полярной системе координат (зависимости коэффициента усиления в дБ от угла  $\theta$  при фиксированных значениях угла  $\varphi = 0^\circ$  и  $\varphi = 90^\circ$ , представленные соответственно непрерывной и пунктирной линиями) (рис. 8, 9, 10, 11). Как видно из представленных результатов, хорошее согласование в диапазоне 2,5-2,7 ГГц обеспечивается при трех конфигурациях антенны, при этом диаграммы направленности очень схожи, и частоты с наилучшим согласованием ( $|S_{11}| \leq -10$  дБ) отличаются лишь на 30 МГц (2,51 ГГц первом и втором случаях, 2,54 ГГц в третьем случае).

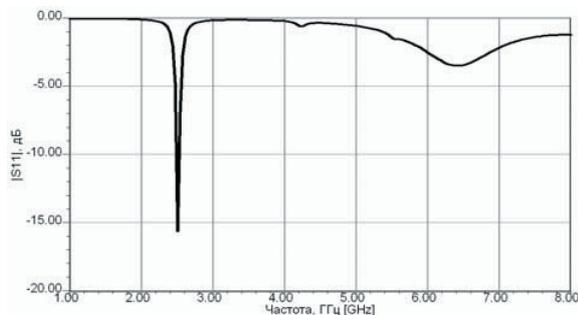


Рис. 4. Зависимость модуля коэффициента отражения  $|S_{11}|$  от частоты для конфигурации «++»

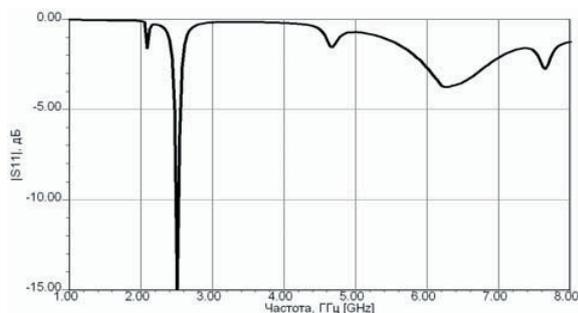


Рис. 5. Зависимость модуля коэффициента отражения  $|S_{11}|$  от частоты для конфигурации «+-»

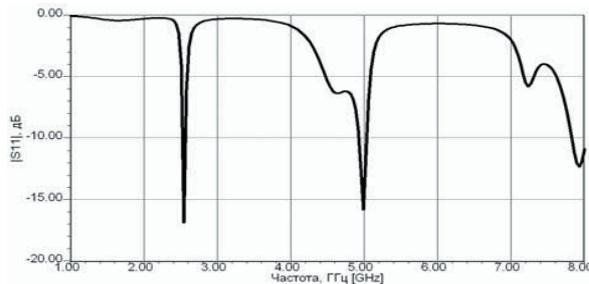


Рис. 6. Зависимость модуля коэффициента отражения  $|S_{11}|$  от частоты для конфигурации «-+»

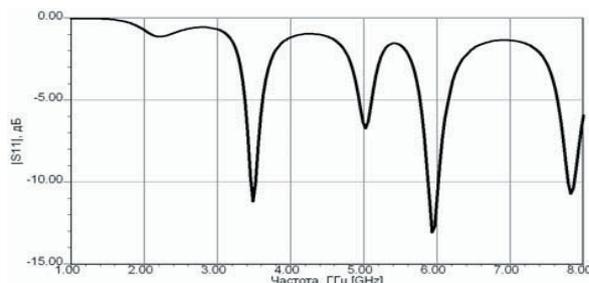


Рис. 7. Зависимость модуля коэффициента отражения  $|S_{11}|$  от частоты для конфигурации «--»

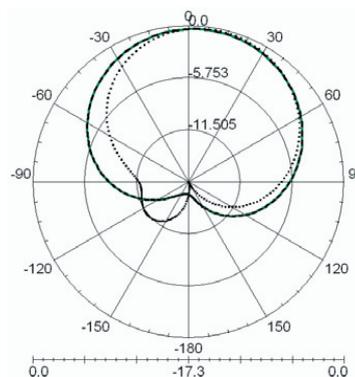


Рис. 8. Диаграмма направленности антенны на частоте с наилучшим согласованием  $f = 2,51$  ГГц для конфигурации «++»

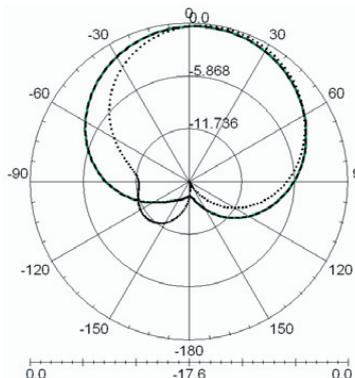
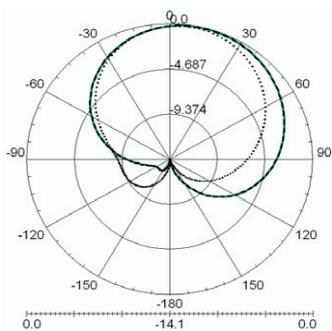
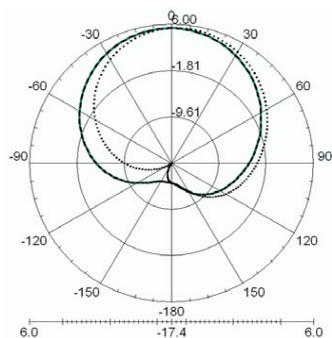


Рис. 9. Диаграмма направленности антенны на частоте с наилучшим согласованием  $f = 2,51$  ГГц для конфигурации «+-»

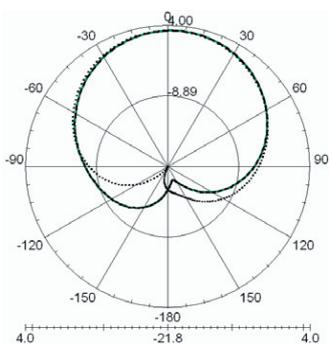


а

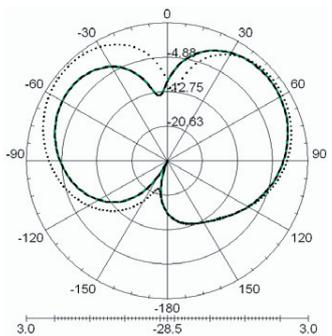


б

Рис. 10. Диаграммы направленности антенны на частот с наилучшим согласованием  $f = 2,54$  ГГц (а) и  $f = 4,99$  ГГц (б) для конфигурации «--»



а



б

Рис. 11. Диаграммы направленности антенны на частот с наилучшим согласованием  $f = 3,49$  ГГц (а) и  $f = 5,94$  ГГц (б) для конфигурации «+»

Учитывая то, что обычно такие РА интегрируются на общей подложке с приемником (передатчиком), и в этом случае соединения реализуются с помощью микрополосковых линий передачи, было проведено также моделирование возбуждения РА несимметричной микрополосковой линией. Полученные зависимости существенно отличаются от описанных выше результатов, поэтому можно сделать вывод о возможности создания на базе такой антенны интегрированных активных антенн.

Для дальнейшего моделирования разработанная антенна была размещена на модели ноутбука, выполненного из материала Lucite ( $\epsilon_r = 3,6$ ), с размерами основания  $300 \times 200 \times 31,8$  мм и размерами крышки  $300 \times 200 \times 6,4$  мм, угол открытия крышки равен  $105^\circ$ . Исследовались такие же как и ранее конфигурации антенны при размещении антенны в позициях 1-4 на крышке модели ноутбука, как показано на рис. 12.

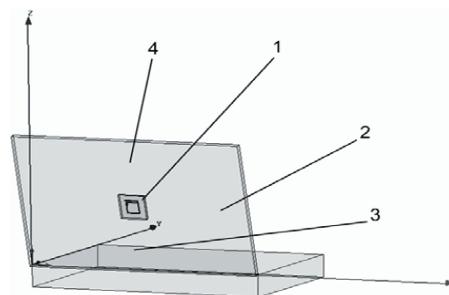


Рис. 12. Позиции для размещения антенны на крышке модели ноутбука

Исследования показали, что при размещении антенны на крышке модели ноутбука частоты, на которых достигается наилучшее согласование, при различных конфигурациях изменяются на 50-300 МГц. При этом ухудшается согласование, а также появляются новые резонансные частоты в конфигурации «+». Так, в конфигурации «++» наилучшее согласование достигается на частоте 2,68 ГГц вместо 2,51 ГГц; в конфигурации «+-» - 2,83 ГГц вместо 2,51 ГГц и добавляются частоты 2,56 ГГц и 5,08 ГГц с согласованием по уровню - 5 дБ; в конфигурации «--» - 2,59 ГГц (по уровню -5 дБ) вместо 2,54 ГГц и 5,16 ГГц вместо 4,99 ГГц; в конфигурации «-+» - 3,44 ГГц (по уровню -5 дБ) вместо 3,49 ГГц и 5,89 ГГц вместо 5,94 ГГц. Диаграммы направленности антенн имеют изрезанные края, однако заметно увеличение коэффициента усиления. Все эти изменения обусловлены наличием реальной окружающей обстановки. Поэтому при наличии изрезанных ДН переключение между конфигурациями в процессе реальной работы антенны позволит обеспечить требуемую эффективность при изменении окружающей обстановки. Наилучшими позициями для размещения антенны на ноутбуке, как видно из объёмных диаграмм направленности (таблица 1), являются позиции 4 и 2, так как при размещении антенны на этих позициях наблюдаются наименее изрезанные края диаграмм направленности. Эти позиции находятся ближе к краям, чем позиции 1 и 2, поэтому можно предположить, что при размещении антенны в верхнем углу крышки ноутбука также будут достигнуты хорошие результаты, т.е. антенну на крышке ноутбука следует размещать ближе к верхнему краю для получения наилучших характеристик.

Таблица 1

Объёмные ДН антенны при ее размещении на крышке ноутбука

Конфигурация., част., ГГц	Позиция 1	Позиция 2	Позиция 3	Позиция 4
++, 2,68				
+-, 2,83				
+-, 2,58				
+-, 5,08				
--, 2,59				
--, 5,16				
+-, 3,44				
+-, 5,89				

**Выводы**

В работе исследованы линейные характеристики спиральной реконфигурируемой антенны. В отличие от [2] изменено положение переключателей и рабочие диапазоны антенны для работы в современных средствах связи. При ее размещении на крышке ноутбука продемонстрировано влияние позиции размещения на характеристики направленности и даны рекомендации по размещению.

Детальному исследованию поляризационных свойств и нелинейных характеристик данной антенны будет посвящена вторая часть статьи.

**Литература**

1. Сидоров Я. Г., Лучанинов А. И. Современное состояние техники реконфигурируемых антенн // Прикладная радиоэлектроника – 2008. – том 7, №1. – С. 2-10.
2. Huff G. H., Feng J., Zhang S. et al. Directional reconfigurable antennas on laptop computers: simulation, measurement and evaluation of candidate integration positions // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2004. – Vol. 52, N 12. – P. 3220-3227.
3. De Los Santos H. J. RF MEMS Circuit Design for Wireless Communications. – Norwood, MA: Artech House, 2002. – 280 p.
4. Muldavin J. B., Rebeiz G. M. High-Isolation CPW MEMS Shunt Switches – Part 1: Modelling // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2000. – Vol. 48, N 6. – P. 1045-1052.
5. Rebeiz G. M., Muldavin J. B. RF MEMS Switches and Switch Circuits // IEEE Microwave Magazine. – 2001. – Vol. 1. – P. 59-71.
6. Сидоров Я. Г. Математическая модель реконфигурируемых антенн с учетом нелинейных свойств управляющих элементов // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2008. – N 155. – С. 274-281.
7. Сабоннадьер Ж.-К., Кулон Ж.-Л. Метод конечных элементов и САПР. – М.: Мир, 1989. – 190 с.