

**СИСТЕМЫ синхронизации,
формирования и обработки
сигналов**

№ 6-2019 год

Редколлегия:

- Пестряков А.В.,** *д.т.н., профессор, декан факультета Радио
и Телевидения МТУСИ*
- Кулешов В.Н.,** *д.т.н., профессор Московского энергетического института
(ТУ), председатель российского отделения IEEE Circuit
and System Society*
- Шинаков Ю.С.,** *д.т.н., профессор, зав. кафедрой радиотехнических систем
МТУСИ*
- Варламов О.В.,** *д.т.н., начальник отдела ООИРиПА МТУСИ*
- Алёшин В.С.,** *к.т.н., с.н.с., МТУСИ*
- Аджемов Ар.С.,** *д.т.н., МТУСИ*

Учредитель:

ООО «ИД Медиа Паблшер»

Номер подписан в печать 01.11.2019 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Артёмов Т.К., Гвоздарев А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННЫХ РЕШЕТОК МИМО СИСТЕМЫ НА НАДЕЖНОСТЬ СВЯЗИ	4
Вильдерман Е.Н., Белов Л.А. ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ С ГИПЕРФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ СВЯЗИ	10
Витомский Е.В., Михайлов В.Ю. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ БЫСТРОГО ПОИСКА ПО ЗАДЕРЖКЕ КОДОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ	15
Волчков В.П., Манюнина И.В., Санников В.Г. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ НЕПРЕРЫВНЫХ СИГНАЛОВ В ПРОСТРАНСТВЕ КОМПЛЕКСНЫХ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ	20
Гурьянов Е.Д., Приоров А.Л., Дубов М.А. ПОСТРОЕНИЕ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ РАДИОСЕТИ НА ОСНОВЕ МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ	27
Кандауров Н.А. СИГНАЛЬНО-КОДОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ НИЗКОСКОРОСТНОЙ ШИРОКОПОЛОСНОЙ ДЕКАМЕТРОВОЙ СВЯЗИ	33
Елизаров А.А., Лаврухин И.Р., Башкевич С.В., Скуридин А.А. ВЛИЯНИЕ ИЗГИБА НА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ RFID МЕТКИ	39
Дмитриев А.С., Мохсени Т.И., Кристиан Маурисио Сьерра-Теран ПРЯМОХАОТИЧЕСКАЯ ОТНОСИТЕЛЬНАЯ СХЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ	45
Кренин А.Н., Боровков Ю.Е., Набишкин В.С., Петухов П.Е. КЛАСС РАДИОСИГНАЛОВ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ	51
Иванов Д.В., Рябова М.И., Кислицын А.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДИК И АЛГОРИТМОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ПОЛОСЫ КОГЕРЕНТНОСТИ ПРИ КВАЗИЗЕНИТНОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ	55
Половнев С.И., Дуйнова Ю.А., Соловьев А.Н., Попова М.С. ОТКАЗОУСТОЙЧИВАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РАЗВЕРТЫВАНИЯ ПЕРЕДВИЖНЫХ СТАНЦИЙ РАДИОСВЯЗИ	69
Силантьев А.Б., Фернанду Карлуш Абелу Гунза, Оливиу Жельсон Сильва Фернандес МНОГОКАНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА УСТРОЙСТВА МНОГООБЗОРНОГО НАБЛЮДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА В СОСТАВЕ ОБЗОРНОГО РАДИОЛОКАТОРА	69
Яшица М.В., Таташев А.Г., Доткулова А.С., Сусоев Н.П. ДЕТЕРМИНИРОВАННО-СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАФИКА С ВАРИАЦИЕЙ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДИТЕЛЕЙ	74
Болотов А.О., Варламов О.В. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАКЕТА УСИЛИТЕЛЯ ШИМ СИГНАЛА ДЛЯ МОДУЛЯЦИОННОГО ТРАКТА ПЕРЕДАТЧИКА С РАЗДЕЛЕНИЕМ СОСТАВЛЯЮЩИХ	80
Поборча Н.Е. НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В ЗАДАЧЕ СОВМЕСТНОЙ ОЦЕНКИ МНОЖИТЕЛЕЙ КАНАЛА И ИСКАЖЕНИЙ OFDM СИГНАЛА, ВОЗНИКАЮЩИХ В ТРАКТЕ ПРИЕМНИКА ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ	85

ВЛИЯНИЕ ИЗГИБА НА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ RFID МЕТКИ

Елизаров Андрей Альбертович,

НИУ ВШЭ, Департамент электронной инженерии, Москва, Россия

a.yelizarov@hse.ru

Лаврухин Илья Романович,

НИУ ВШЭ, Департамент электронной инженерии, Москва, Россия

Башкевич Степан Владимирович,

НИУ ВШЭ, Департамент электронной инженерии, Москва, Россия

Скуридин Андрей Андреевич,

НИУ ВШЭ, Департамент электронной инженерии, Москва, Россия

Аннотация

В данной работе обсуждается важный компонент системы радиочастотной идентификации (RFID), а именно RFID-метка и влияние изгиба на ее электродинамические параметры. Метка RFID была смоделирована, и были рассчитаны следующие параметры: коэффициенты матрицы рассеяния (параметр S_{11}), коэффициент стоячей волны по напряжению ($VSWR$), вертикальные и горизонтальные диаграммы направленности и общее значение. Результаты работы позволяют оптимизировать конструкцию RFID-метки таким образом, чтобы достичь оптимальных количественных показателей электродинамических параметров.

Ключевые слова

RFID, метка, антенна, считыватель, СВЧ, изгиб, электродинамика

Введение

Некоторой альтернативой многослойным печатным платам, изготовленным по технологии LTCC, являются гибкие печатные платы на основе жидкокристаллических полимеров (LCP) [1]. Такие платы, представляющие практический интерес для радиочастотного и микроволнового диапазонов, еще не получили должного распространения из-за сложности производственного процесса и необходимости точного контроля каждой стадии технологического процесса во время их изготовления.

Тем не менее, растущий спрос на гибридные жестко-гибкие многослойные платы для микроволновых устройств обусловлен рядом важных факторов, таких как обеспечение координации соединений с высокой плотностью монтажа, использование гибких композитных материалов, которые гарантируют увеличение массы, габаритные параметры проектируемых устройств, стабильность электродинамических характеристик под воздействием внешних факторов - температуры, давления, влажности и др.

В настоящее время многослойные гибкие печатные платы используются для [2]:

- устройства радиочастотной и микроволновой связи, обеспечивающие возможность взаимного перемещения подключенных модулей и перегибов во всех направлениях;
- резонансные элементы микроволновых трактов и датчиков;
- медицинские имплантаты, а также чувствительные элементы ультразвукового и эндоскопического оборудования;
- микрополосковые излучатели и антенны, в том числе для радиочастотных идентификационных устройств (RFID) [3-5];

Технологии гибких многослойных печатных плат продолжают развиваться и, несомненно, будут играть важную роль в интеграции электронных устройств.

Это направление исследований очень актуально для развития систем Интернета вещей и напрямую влияет на скорейшее внедрение таких решений в различные сферы человеческой деятельности и их наиболее эффективное использование.

Таким образом, после анализа нововведений в структуру конструкции многослойных печатных плат СВЧ-диапазона становится очевидна их зависимость от технологии интеграции трехмерных структур. Такие технологии должны иметь конкурентное преимущество в рыночных условиях и предоставлять максимальные функциональные возможности микроволновых устройств в сочетании с минимальными параметрами массы и размера и низкой стоимостью.

Результаты и методология

Одной из технологий, которая имеет большой потенциал для развертывания с ее помощью систем IoT (Internet of Things), является технология радиочастотной идентификации (RFID - Radio Frequency Identification). Базовая система радиочастотной идентификации состоит из четырех основных компонентов. Все компоненты

системы представлены на рис. 1: считывающее устройство (RFID reader); считываемое устройство (transponder, tag, RFID tag); антенна считывателя; хост-компьютер.

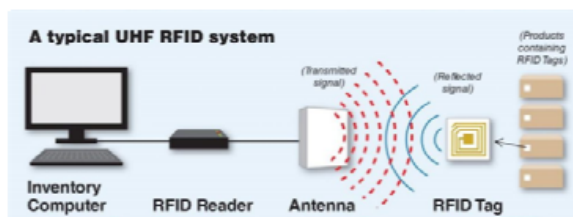


Рис. 1. Структура UHF RFID системы

В работе более подробно рассматривается считываемое устройство – RFID метка.

Структура любой метки может быть представлена в виде двух частей:

1. Микросхема (чип), которая хранит информацию, а также кодирует/декодирует сигнал;
2. Антенна, которая принимает и передает сигнал [4].

Моделирование RFID метки проходило при помощи программного обеспечения NI AWR Design Environment 14. Геометрические параметры метки представлены на рис. 2. В данной модели микросхема не учитывалась и были сделаны два порта, которые подключают антенну метки к чипу. Затем была представлена модель метки в трехмерном пространстве, как показано на рис. 3.

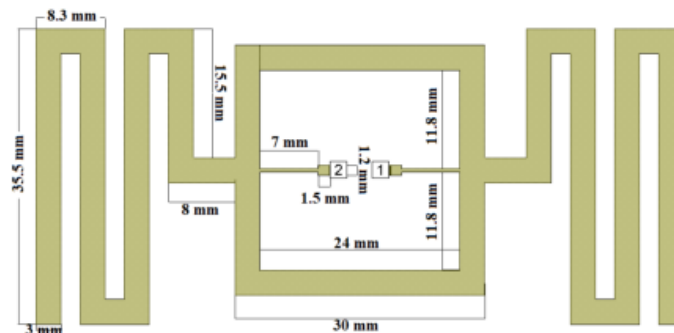


Рис. 2. Топология RFID метки

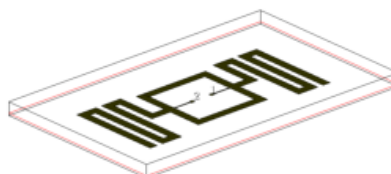


Рис. 3. 3D модель RFID метки в NI AWR Design Environment 14

После этого, были проведены замеры следующих электродинамических параметров:

- Коэффициенты матрицы рассеяния (параметр S_{11});
- Коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН/VSWR);
- Вертикальные и горизонтальные диаграммы направленности, а также общее значение.

Результаты моделирования представлены на 4, 5, 6 и 7 рисунках:

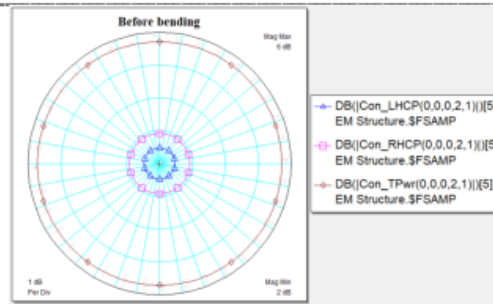


Рис. 4. Вертикальные диаграммы направленности и общее значение до проведения гибких деформаций

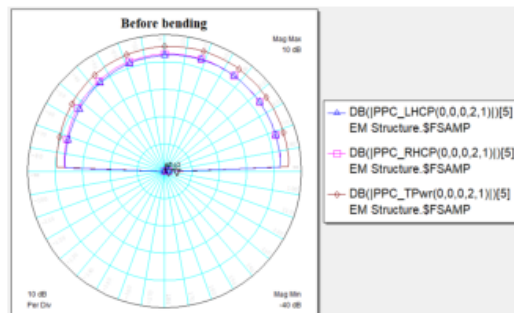


Рис. 5. Горизонтальные диаграммы направленности и общее значение до проведения гибких деформаций

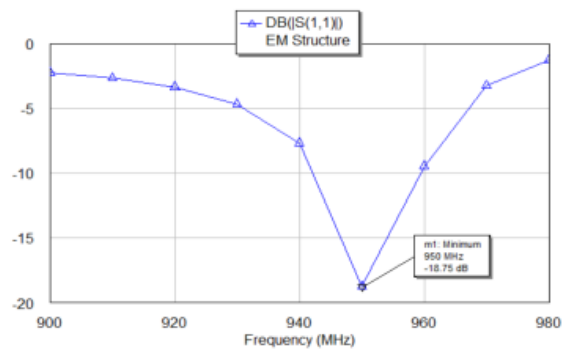
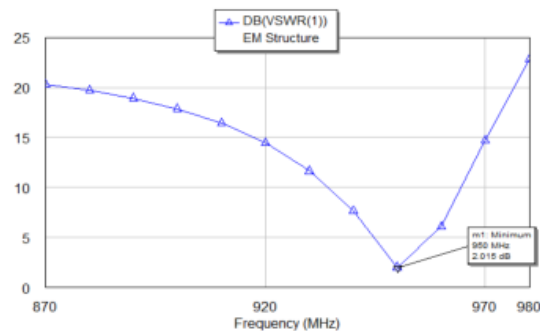
Рис. 6. S_{11} параметр до проведения гибких деформаций

Рис. 7. VSWR до проведения гибких деформаций

После расчетов параметров метки в обычном состоянии, некоторые части антенны были размещены в разных слоях. Это позволило достичь эффекта сгиба исследуемой RFID метки. Пример показан на рисунке 8. Топология модели после изгиба представлена на рис. 9.

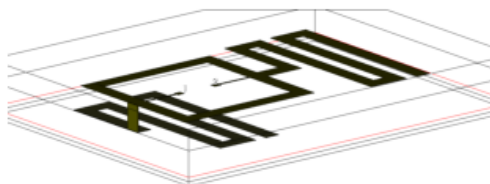


Fig. 8. Модель сгиба RFID метки в NI AWR Software

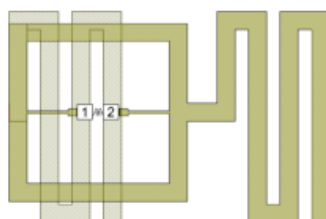


Рис. 9. Топология RFID метки после проведения гибких деформаций

Это позволило смоделировать такие обстоятельства, при которых на метку оказывает влияние гибкие деформации, например, во время каких-либо логистических операций с товаром. На рисунках 10, 11, 12 и 13 представлены выходы данные после расчетов:

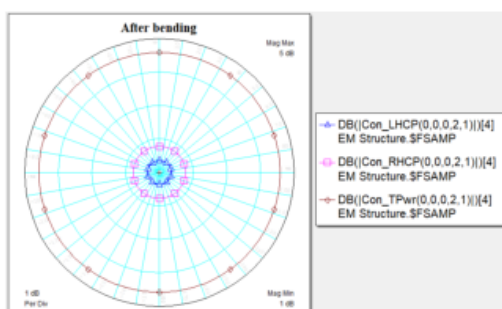


Рис. 10. Вертикальные диаграммы направленности и общее значение после проведения гибких деформаций

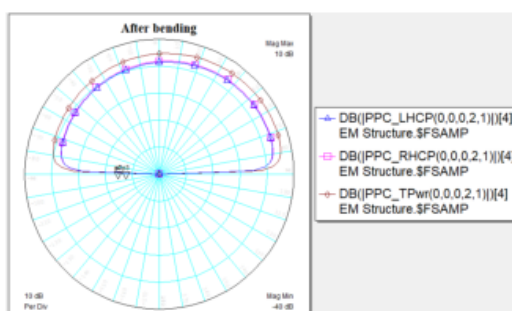


Рис. 11. Горизонтальные диаграммы направленности и общее значение после проведения гибких деформаций

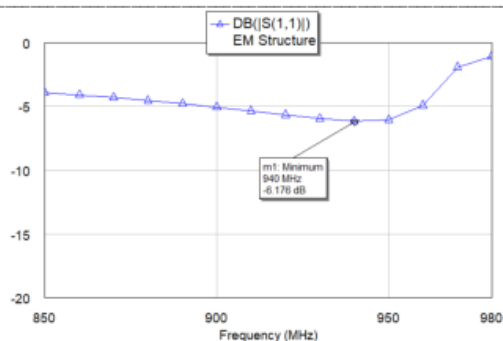
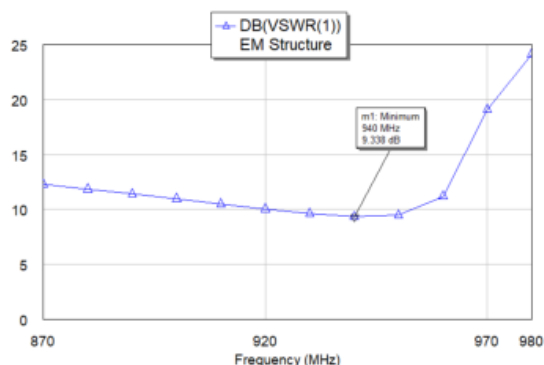
Рис. 12. S_{11} параметр после проведения гибких деформаций

Рис. 13. VSWR после проведения гибких деформаций

После анализа результатов моделирования становится понятно, что S_{11} параметр и КСВН претерпели гораздо более значительные изменения по сравнению с диаграммами направленности. Изменения очень схожи и характеризуются значительным ухудшением и изменением резонансной частоты как для S_{11} параметра, так и для КСВН.

Далее следует табл. 1, в которой отражаются изменения в числовой форме.

Таблица 1

Изменения электродинамических параметров

	До сгиба	После сгиба
Резонансная частота, МГц	950	940
S_{11} , dB	-18,75	-6,176
VSWR	1,26	2,93

Заключение

Таким образом, в представленной работе было определено, какие из электродинамических параметров RFID меток оказывают самое большое влияние на успешное считывание: коэффициенты матрицы рассеяния, коэффициент стоячей волны по напряжению, диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также общая. Данные результаты были получены при помощи моделирования в пакете NI AWR Design Environment 14. Моделирование было разделено на два этапа. Первый этап – метка находилась в своем стандартном положении, то есть без каких-либо гибких деформаций. Второй этап – метка подвергалась гибким деформациям и, соответственно, меняла свою форму. После обработки выходных данных выяснилось, что диаграммы направленности некоторым образом изменились, но не очень сильно. В свою очередь, гораздо сильнее претерпели изменения коэффициент стоячей волны по напряжению, а также коэффициент матрицы рассеяния.

Статья подготовлена в ходе/в результате проведения исследования/работы (№ 19-04-005) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета „Высшая школа экономики“ (НИУ ВШЭ)» в 2019 — 2020 гг. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5-100».

Литература

1. *Yelizarov A.A., Zakirova E.A.* Microstrip microwave devices on printed circuit boards with multilayer dielectric substrates. M.: Publishing House "Media Publisher", 2016 (in russian).
2. *Yelizarov A.A., Kastorskaya A.S., Kikharenko A.S.* Patent № 2 408 115 RU. RFID-antenna. 2010. Bull. № 36.
3. *Yelizarov A.A., Bashkevich S.V., Lavrikhin I.R., Larionov A.A., Karavashkina V.N.* Development of intelligent RFID-system for logistics Processes // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, IEEE Conference #46544, 2019.
4. *Lavrikhin I., Larionov A., Yelizarov A.A.* Analysis and modeling of the protocol of radio frequency identification of vehicles on road stations // SYNCHROINFO 2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, IEEE Conference # 43613. IEEE, 2018.
5. *Yelizarov A.A., Nesterenko A.N., Zakirova E.A., Kikharenko A.S.* Investigation of microstrip antenna for RFID-technology on circular meander-line // T-Comm: telecommunications and transport. 2017. V ol. 11 No9, pp. 37-42.

