

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII  
MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei  
Facultatea Electronică și Telecomunicații  
Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice**

Admis la susținere  
Șefă departament:  
Tîrșu Valentina, conf. univ., dr.

---

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2024

**Dezvoltarea unei metode eficiente de calcul a  
antenelor pentru tehnologia de comunicare în câmpul  
din preajmă**

**Разработка эффективного метода расчёта антенн  
для технологии коммуникации ближнего поля**

**Teză de master**

**Student: Barabash Dmytro, grupa SCE-221M  
Conducător: Șestacova Tatiana, conf. univ., dr.**

**Chișinău, 2024**

## ADNOTARE

**Autor:** Barabash Dmytro, SCE-221M

**Tema:** “ Dezvoltarea unei metode eficiente de calcul a antenelor pentru tehnologia de comunicare în câmpul din preajmă”.

**Structura lucrării:** Lucrarea constă din rezumat, introducere, 3 capitoli, concluzie și bibliografie, 65 p.

**Cuvinte chei:** Sisteme NFC, parametrul S11, lanțuri de coordonare.

**Domeniu de cercetare:** Inginerie radio, Internet of Things.

**Scopul lucrării:** Dezvoltarea unei metode eficiente de calcul a antenelor pentru tehnologia de comunicare în câmpul din preajmă

**Obiective:**

1. Efectuarea studiului analitic al surselor de informații pe tema muncii
2. Descrierea principiului de funcționare al tehnologiei de câmp apropiat
3. Dezvoltarea a metodologiei pentru calcularea parametrilor antenei
4. Estimarea erorilor de calcul al formulei
5. Dezvoltarea soluției constructivă a antenei
6. Efectuarea modelării computerizate și a studiilor de laborator pe un mostra dispozitivului pentru măsurarea parametrilor sistemului.

**Metodele utilizate:** Calcule analitice ale antenei, lanțuri de coordonare și circuitul oscilator original. Modelarea computerului și cercetarea de laborator cu Vector Circles Analyser.

**Rezultatele obținute:** a fost dezvoltată metoda de calculare a parametrilor antenei, evaluată eroarea de calcul, s -a dezvoltat construcția plăcii de circuit imprimat și a antenei dreptunghiulare, au fost efectuate cercetări de laborator care au confirmat corectitudinea calculelor.

**Valoarea practică:** Metodologia dezvoltată poate fi utilizată în proiectarea dispozitivelor de comunicații de câmp apropiat, care uneori accelerează dezvoltarea acestui tip de dispozitive.

## АННОТАЦИЯ

**Автор:** Барабаш Дмитрий гр. SCE-221М

**Тема:** Разработка эффективного метода расчёта антенн для технологии коммуникации ближнего поля

**Структура работы:** Введение, 4 Раздела, Выводы, Библиография, Графические материалы, 66 стр.

**Ключевые слова:** Системы NFC, параметр S11, цепи согласования.

**Область исследования:** Радиотехника, системы интернет вещей.

**Цель работы:** разработка методологии расчёта и оптимизации антенн в технологии коммуникации ближнего поля.

**Задачи:**

1. Провести аналитическое исследование источников информации по теме работы
2. Описать принцип работы технологии ближнего поля
3. Разработать методику расчёта параметров антенны
4. Оценить погрешность расчётов формул
5. Разработать конструктивное решение антенны
6. Провести компьютерное моделирование и лабораторные исследования на макете устройства по измерениям параметров системы.

**Применяемые методы:** аналитические расчёты антенны, цепей согласования и исходного колебательного контура. Компьютерное моделирование и лабораторные исследования с векторным анализатором кругов.

**Полученные результаты:** Разработана методика расчёта параметров антенны, оценена погрешность расчётов, разработана конструкция печатной платы и антенны прямоугольной формы, проведены лабораторные исследования, подтвердившие корректность расчётов.

**Практическое значение:** разработанная методика может использоваться при проектировании систем коммуникации ближнего поля, что значительно ускоряет разработку данного рода устройств.

## ABSTRACT

**Author:** Barabash Dmytro gr. SCE-221M

**Topic:** Development of an effective method for calculating antennas for near-field communication technology.

**Structure of the work:** Introduction, 4 Sections, Summary, Bibliography, Graphic materials, 66 p.

**Key words:** NFC systems, parameter S11, matching circuits.

**Field of study:** Radio engineering, Internet of Things systems.

**The purpose of the work:** is to develop a methodology for calculating and optimizing antennas in near-field communication technology.

**Objectives:** 1. Analytical consideration of sources of information on the topic of work

2. Describe the operating principle of near-field technology

3. Develop a methodology for calculating antenna parameters

4. Assess the error of formula calculations

5. Develop a design solution for the antenna

6. Carrying out computer modeling and laboratory research on a layout device to measure system parameters.

**Applied methods:** analytical calculations of the antenna, matching circuits and the original oscillating circuit. Computer modeling and laboratory research with a vector circle analyzer.

**The obtained results:** A method for calculating antenna parameters was developed, the calculation error was assessed, the design of a printed circuit board and a rectangular antenna was developed, and laboratory studies were carried out that confirmed the correctness of the calculations.

**Practical significance:** The created methodology can be used in the design of near-field communication systems, which greatly accelerates the development of this type of device.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И НАЗНАЧЕНИЙ</b> .....	7
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	8
<b>1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА АНТЕНН И ЦЕПЕЙ СОГЛАСОВАНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ КОММУНИКАЦИИ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ</b> .....	11
<b>2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ АНТЕННЫ ТЕХНОЛОГИИ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ</b> .....	13
2.1 Принцип работы технологии коммуникации ближнего поля .....	13
2.2 Алгоритм разработки антенны технологии коммуникации ближнего поля .....	14
2.3 Аналитический расчет индуктивности антенны .....	16
2.4 Пример расчета антенны прямоугольной формы .....	22
<b>3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА И ЦЕПЕЙ СОГЛАСОВАНИЯ</b> .....	28
3.1 Микросхемы NFC PN523, PN5180 .....	28
3.2 Аналитический расчет колебательного контура и цепей согласования .....	33
3.3 Компьютерное моделирование колебательного контура и цепей согласования, определение параметра $S_{11}$ .....	41
3.4 Векторный анализатор цепей NanoVNA , калибровка прибора .....	47
3.5 Определение реальных значений параметра $S_{11}$ , оптимизация значений компонентов .....	53
3.6 Особенности трассировки печатных плат устройств технологии коммуникации ближнего поля .....	61
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	63
<b>БИБЛИОГРАФИЯ</b> .....	65

## ВВЕДЕНИЕ

Для коммерческих целей необходимо было разработать принципиально новое устройство, не имеющее аналогов на рынке IoT технологий. Это гибридное устройство включающее в себя считыватель NFC меток с карт и активных меток с мобильного телефона (смартфонов, которые поддерживают NFC технологию), и имело коммуникацию с «внешним миром» при помощи ZigBee технологии. Данное устройство является частью умной экосистеме ОМО smart home.

Для успешного построения устройства необходимо правильно спроектировать антенну и цепи согласования между антенной и входным контуром микроконтроллера NFC. Сложность этой задачи заключается в том, что общей методики расчёта и согласования не существует. Каждый производитель микроконтроллеров NFC даёт только общие рекомендации по подбору номиналов компонентов в цепи согласования, а так же типовые схемы включения. Следуя этим рекомендациям не всегда получается добиться желаемого результата, точность расчётов лежит в пределах 30% , а иногда и 50% от необходимых номиналов. Суть проблемы заключается в размерах и параметрах антенны. Антенна создаётся при разводке печатной платы и является ее частью в этом заключается суть проблемы, для каждого нового устройства – новая антенна и другие номиналы в цепи согласования.

Именно для этих целей была разработана методика расчёта антенн коммуникаций ближнего поля и настройки цепей согласования.

Методика включает в себя некоторые известные методики расчёта отдельных компонентов а так же компьютерное моделирование и финальную лабораторную настройку.

Научная новизна этой методики заключается в том, что подобных структурированных методик не описано, ценность методики заключается в том что любой инженер без глубоких знаний в радиочастотных фильтрах и векторного согласования цепей может ее применить при построении NFC устройства и получить желаемый результат в работе выходного контура и добиться высоких качественных показателей в его работе таких как : тип читаемых меток, эффективное расстояние считывание, потребление устройства.

Near field communication , NFC («коммуникация ближнего поля», «ближняя бесконтактная связь») – технология беспроводной передачи данных малого радиуса действия, которая даёт возможность обмена данными между находящимися на расстоянии ~10 см устройствами, анонсирована в 2004 г.

Эта технология – простое расширение стандарта бесконтактных карт (ISO 14443), объединяющее интерфейс смарт-карты и считывателя в единое устройство. Устройство

NFC может поддерживать связь и с существующими смарт-картами, и со считывателями стандарта ISO 14443, и с другими устройствами NFC и, таким образом, совместимо с существующей инфраструктурой бесконтактных карт, уже используется в общественном транспорте и платёжных системах. NFC нацелена прежде всего на использование в цифровых мобильных устройствах.

**Цель работы:** разработка методологии расчёта и оптимизации антенн в технологии коммуникации ближнего поля.

**Задачи:**

1. Аналитическое рассмотрение источников информации по теме работы
2. Описать принцип работы технологии ближнего поля
3. Разработать методику расчёта параметров антенны
4. Оценить погрешность расчётов формул
5. Разработать конструктивное решение антенны
6. Провести компьютерное моделирование параметров и лабораторные исследования на макете устройства по измерениям параметров системы.

Для разработки *методики расчёта* антенн для технологии коммуникации ближнего поля необходимо выполнить следующие работы:

1. Определение геометрических размеров антенны.
2. Аналитический расчёт индуктивности антенны.
3. Изготовление макета антенны.
4. Измерение индуктивности антенны.
5. Аналитический расчёт колебательного контура и кругов согласование.
6. Компьютерное моделирование колебательного контура и кругов согласование, определение параметра  $S_{11}$ .
7. Изготовление макета устройства.
8. Оптимизация колебательного контура и цепей согласования с помощью векторного анализатора цепей.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Документация компании NXP Application note AN 11019, CLRC 663, MFRC 630, MFRC 631, SLRC 610, Antenna Design Guide , Rev. \_ 1.5-25 June 2018.
2. Документация компании NXP Application note AN11276 NTAG Antenna Design Guide Rev. 1.5 — 27 апреля 2016.
3. Документация компании NXP Product data sheet PN5180A0xx/C3 ,C4 , High-performance multiprotocol full NFC frontend, supporting all NFC Forum modes Rev. 3.8 — 4 мая 2021 года.
4. Документация компании NXP Application note AN11744 PN5180 Evaluation board quick start guide Rev. 1.2 - 7 апреля 2016.
5. Документация компании NXP Product data sheet PN532/C , Near Field Communication (NFC) controller Rev. 3.6 - 28 November 2017.
6. Документация компании NXP Application note AN12810 Как использовать NanoVNA для NFC reader antenna design Rev. 1.0 - 21 April 2020.
7. Документация компании NXP User manual UM 11135, LPC 8 N 04 Smart NFC Clock Demo Боард \_ Rev. 1.0 - 22 August 2018
8. "What is NFC and how do mobile payments work?". Choose. Archived from the original on 2023-01-17. Retrieved 2022-05-13.
9. "NFC Forum Brings Advanced Security to NFC Tags with Signature RTD 2.0 Technical Specification - NFC Forum". 16 April 2015. Archived from the original on 28 May 2015. Retrieved 27 May 2015.
10. "Access This Premium Content - RFID Journal". 13 December 2007. Archived from the original on 2016-07-30. Retrieved 2019-04-22. Available at: [www.rfidjournal.com](http://www.rfidjournal.com)