

«ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ»

Зав.кафедрой

к.т.н., профессор


Байкенов А. С.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.


**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**  
**пояснительная записка**

на тему: Исследование различных вариантов применения технологии NFC в городе Алматы

Специальность 6M071900 Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнила магистрант гр. МТСп-13-1 \_\_\_\_\_  Касанова А.Т.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Научный руководитель к.ф.- м.н., доцент \_\_\_\_\_  Жунусов К.Х.  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Консультант по ВТ к.т.н., старший преподаватель \_\_\_\_\_  Ефремова Ю.И.  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Нормоконтролер магистр, ассистент \_\_\_\_\_  Зайцев Е.О.  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Рецензент к.т.н., доцент \_\_\_\_\_  Дарасhev А.М.  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Алматы, 2015

Некоммерческое акционерное общество  
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет Радиотехники и телекоммуникации

---

Специальность 6М071900 – Радиотехника, электроника и

телекоммуникации

---

Кафедра Телекоммуникационных систем

---

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение магистерской диссертации

Магистрантке Касеновой Айгерим Тулеухановне

Тема диссертации «Исследование различных вариантов применения технологии NFC в городе Алматы»

утверждена Ученым советом университета № 8 от «12» декабря 2014 г.

Срок сдачи законченной диссертации « 15 » января 2015 г.

Цель исследования: выбор и анализ возможных вариантов применения технологии NFC в городе Алматы.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

1 Обзор технологии NFC и привлеченных стандартов;

2 Определить ограничение и возможности при проектировании для NFC;

3 Собрать измерительную систему для NFC и определить тестовые случаи, пределы, калибровку и т.д.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): 1. Основные компоненты RFID системы; 2. Пошаговая модуляция генерированного сигнала с поднесущей; 3. Схема контура считывателя и транспондера; 4. Зависимость между напряжением транспондера и расстоянием до считывателя; 5. Контрольное устройство.

Рекомендуемая основная литература:

1. C. Mulliner. Attacking NFC Mobile Phones. May 2008.

2. J. Pelé. NFC Tehnology from the IC to NFC Middleware. NXP, April 2008.

3. Р. Бондаренко. Технология NFC - связь на близком расстоянии. Электронные компоненты, №10 2011.

4. Near Field Communication (NFC) Technology and Measurements //www.rohdeschwarz.com

5. NFC-Forum. http://www.nfc-forum.org.

#### ГРАФИК

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю	Примечание
1. Изучение технологии NFC и привлеченных стандартов	5.09.14	Выполнила
2. Сборка системы измерения NFC для использования на операционной системе Android	15.10.14	Выполнила
3. Проведение экспериментов регулирования напряженности динамического поля NFC-устройства для уменьшения энергопотребления	25.11.14	Выполнила
4. Измерения устройств для проверки на соответствие стандартам NFC	5.12.14	Выполнила
5. Обобщение результатов экспериментов и измерений.	5.01.15	Выполнила

Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Байкенов Алимжан Сергеевич  
подпись (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации \_\_\_\_\_ Жунусов Канат Хафизович  
подпись (Ф.И.О.)

Задание приняла к исполнению магистрантка \_\_\_\_\_ Касенова Айгерим Тулеухановна  
подпись (Ф.И.О.)

## **Аннотация**

Ближняя бесконтактная связь (NFC) является формой технологии беспроводной коммуникации, предоставляющей возможность передачи данных, поместив два устройства близко друг к другу. Основная идея технологии NFC заключается в интеграции беспроводной оплаты и чтения тегов в мобильных телефонах наряду с коммуникацией равноправных узлов. Основной целью данной магистерской работы является сбор системы измерения РЧ по NFC. В работе описываются основы технологии NFC вместе с привлеченными стандартами и представляются результаты испытаний из разных возможных устройств с поддержкой NFC.

## **Аңдатпа**

Жақын өрістегі байланыс (NFC) сымсыз байланыс технологиясының түрі болып табылады, ол екі құрылғыны жақын ара қашықтыққа орналастырып, мәліметтер алмасуға мүмкіндік береді. Бұл магистрлік диссертацияның басты мақсаты болып NFC бойынша радиотолқындарды өлшеу жүйесін құру табылады. Жұмыста NFC технологиясының негіздері, келтірілген стандарттармен бірге сипатталады және NFC қолдайтын әртүрлі мүмкін құрылғылардан алынған тәжірибелердің нәтижелері көрсетіледі.

## **Abstract**

Near Field Communication (NFC) is a form of wireless communication technology enabling data transfer by putting two devices close to each other. The main idea behind NFC is to integrate wireless payment and tag reading in mobile phones along with peer-to-peer communication. The main purpose of this master's thesis is to assemble an RF measurement system for NFC. The report covers the basics of NFC together with the involved standards and presents test results from different NFC enabled devices.

## Содержание

Введение	6
1. Основы RFID	7
1.1 Исторический обзор	7
1.2 Компоненты RFID системы	7
1.3 Пассивные и активные передачи данных	7
1.4 Методы подключения	8
1.5 Магнитное поле	9
2. Ближняя бесконтактная связь (NFC)	15
2.1 NFC приложения	15
2.2 Поставщики NFC чипов	16
3. РЧ и цифровой интерфейс	16
3.1 Интерфейс РЧ сигнала	16
3.2 Интерфейс цифрового сигнала	20
3.3 Модуляция	22
4. Экспериментальная часть. Регулирование напряженности динамического поля NFC-устройства для уменьшения энергопотребления	24
5. Стандартизация	29
5.1 ISO/ IEC и ECMA	30
5.2 РЧ интерфейс - Испытание таргета	32
5.3 РЧ интерфейс - испытание инициатора	34
5.4 NFC Форум	34
5.5 EMVCo	40

6. Настройка измерения	41
6.1 Rohde&Schwarz / AIT	41
6.2 Micropross	43
7. Процедура измерения	45
7.1 Rohde&Schwarz / AIT	45
7.2 Micropross	48
8. Результаты испытаний	49
8.1 Rohde&Schwarz / AIT	49
8.2 Micropross	61
Заключение	66
Список сокращений	67
Список терминов	68
Список литературы	69
Приложение А	71
Приложение Б	73

## Введение

Ближняя бесконтактная связь (NFC) является предстоящей технологией основанной на RFID. NFC как ожидается, будет в значительной степени развернута в течении ближайших двух лет, и испытания в настоящее время ведутся во всем мире. Примером приложений является оплата общественного транспорта, кредитные карты, электронные билеты и конфигурация других беспроводных технологий. Развитие NFC в настоящее время обусловлена в NFC Форуме, который является организатором 150 компаний, работающих вместе, чтобы поощрять и развивать NFC.

Цели диссертации:

- получить общие знания о технологии NFC;
- обзор разных NFC поставщиков компонента и определение плюсов и минусов;
- исследовать NFC решения конкурентов;
- определить ограничение и возможности при проектировании для NFC;
- определить и построить макет для NFC;
- собрать измерительную систему для NFC и определить тестовые случаи, пределы, калибровку и т.д.

Работа начинается с описания основ RFID с технологией NFC. Затем следуют главы, описывающие физические принципы и введение в NFC. Она исходит от описания коммуникационных технологий с РЧ и цифрового интерфейса и модуляции. Основные стандарты объясняются с акцентом на стандарте ISO/ECMA. К тому времени, считыватель будет введен во все теоретические основы технологии. Следующие две главы описывают полную установку измерения и процедур измерения, затем следуют главы, содержащие результаты испытаний из всех устройств. Работа дополнена анализами результатов, заключением.



# 1 Основы RFID

## 1.1 Исторический обзор

RFID имеет свое происхождение в военных идентификационных системах и осуществлялся уже в течение II Мировой Войны для того, чтобы идентифицировать самолеты, систему, известную как Идентификация, Друг или Враг (IFF). Технология RFID была разработана для того, чтобы системы использовались для недорогих коммерческих применений. Первыми разработками были электронные теги наблюдения. Большинство RFID меток состоит из двух состояний, включенной и выключенной, и если состояние не было выключенным, когда тег принимает считывателей, раздается сигнальная тревога. Первые теги были пассивными, но со временем, активные теги также были введены. Сегодня RFID это широко распространенная технология, используемая в инфраструктурах во всем мире.

## 1.2 Компоненты RFID системы

Система RFID состоит из двух компонентов. Транспондер или тег, который находится на объекте чтобы быть определяемым, и считыватель, который может считывать либо считывать/записывать устройства, см. рисунок 1.1. Считыватель, как правило, содержит радиочастотный модуль (передатчик и приемник), блок управления и соединительный элемент к тегу. Тег, который представляет собой данные проведения устройство системы RFID, как правило, состоит из соединительного элемента и электронного микрочипа. RFID, как правило, работает на частоте 13,56 МГц.



Рисунок 1.1 – Основные компоненты RFID системы

## 1.3 Пассивные и активные передачи данных

В активном режиме передачи данных, устройства имеют свои собственные источники питания, и могут генерировать свои собственные радиочастотные сигналы, по которым переносятся данные. Большинство RFID тегов пассивные, это означает, что они не имеют никакого самостоятельного

питания. Вместо этого, они рассчитаны на питание от поля, генерируемого считывателем. Пассивные теги, следовательно, могут быть значительно меньше и дешевле, чем активные теги, хотя диапазон считывания является более ограниченной. Полупассивные/активные теги имеют аккумулятор, предназначенный исключительно для питания электроники на чипе.

#### **1.4 Методы подключения**

Способ, в котором RFID тег и считыватель общаются, известен как механизм подключения и подразделяются на три вида:

**Обратная связь.** Обратная связь работает за пределами области ближнего поля, и радиосигнал распространяется от считывателя. Когда сигнал достигает тега, это взаимодействует с входящим сигналом и часть энергии отражается обратно к считывателю. Свойства тега влияют на то, как сигнал отражается обратно. Площадь поперечного сечения, антенна и т.д., являются факторами, которые будут оказывать влияние на то, как тег отражает входящий сигнал. Отраженные свойства сигнала могут быть изменены путем сложения или вычитания нагрузки сопротивления параллельно антенне. Для того, чтобы позволить прием и передачу сигнала в то же время, направленная связь часто позволяет принимаемому сигналу быть отдельным от преломленного.

**Ёмкостная связь.** Ёмкостная связь использует емкостные эффекты, чтобы обеспечить связь между тегом и считывателем. Он работает лучше всего, когда элементы, как смарт-карты, вставляются в считыватель, то есть карта находится в непосредственной близости к считывателю. Сигнал переменного тока, генерируемая считывателем, поднимается и выпрямляется внутри тега и используется для питания устройств внутри тега. Как и обратная связь, данные передаются считывателю путем модуляции нагрузки.

**Индуктивная связь.** С точки зрения эксплуатации, индуктивная связь является передачей энергии от одного канала связи к другому через взаимную индуктивность между двумя каналами связи. Когда тег размещен достаточно близко к считывателю, поле из катушки считывателя связывается с катушкой тега. В теге будет порождено напряжение, которое будет выпрямляться и использоваться для питания схемы тегов. Для модуляции данных из тега к считывателю, схема тега изменяет нагрузку на его катушке, и это можно обнаружить с помощью считывателя в результате взаимной связи.

Индуктивная связь RFID является эффектом ближнего поля, поэтому расстояние между катушками должно быть меньше, чем  $\lambda/2\pi$  для тега в эксплуатации.

Здесь следует отметить, что никакое электромагнитное поле не присутствует в ближней зоне области считывателя. Поле, генерируемое считывателем, чисто магнитное до перехода на дальнее поле. На протяжении

всей работы, используется термин РЧ поле, хотя на самом деле это магнитное поле.

Диапазон RFID системы в целом разделен на три зоны:

- ближняя связь - до 1 см;
- удаленная связь - между 1 см и 1 м;
- связь на большой дальности - больше 1 м.

Из этих типов RFID связей, индуктивные и емкостные виды, как правило, используются для ближних и удаленных линий связи, а обратное соединение RFID для дальних линий связи. Тип используемого соединения влияет не только на выбор RFID системы, но и на рабочую частоту и на другие элементы RFID оборудования.

## 1.5 Магнитное поле

Большинство RFID систем работает в соответствии с принципом индуктивной связи. Таким образом, понимание процедур передачи питания и данных требует понимания физических принципов магнетизма. Соответственно, эта глава содержит краткое изучение теории магнитных полей с точки зрения RFID.

Напряженность магнитного поля,  $H$ . Перемещение электрических зарядов, т.е. протекание тока, генерирует магнитное поле. Значение магнитного поля описывается напряженностью магнитного поля  $H$ . В общем виде можно сказать, что: "контурный интеграл напряженности магнитного поля по замкнутой кривой равен сумме текущих напряженностей токов в нем", как показано в уравнении (1.1) [8].

$$\sum I = \oint \vec{H} \cdot d\vec{s} \quad (1.1)$$

Два примера того, как магнитный поток ведет себя, когда ток проходит проводник, можно увидеть на рисунке 1.2.

В прямом проводнике напряженность поля  $H$  вдоль кольцевой линии потока на расстоянии  $r$  постоянна. Напряженность поля  $H$  может быть выражена как:

$$H = \frac{1}{2\pi r} \quad (1.2)$$

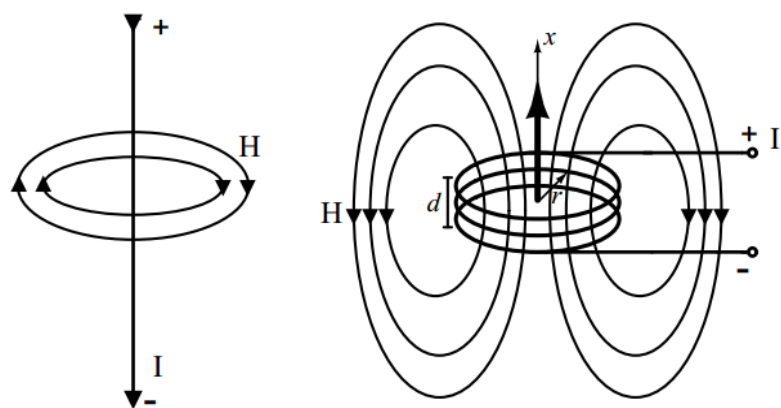


Рисунок 1.2 – Линии магнитного потока вокруг проводника и цилиндрической катушки

Контуры проводника используются в качестве магнитных антенн для генерации переменного магнитного поля в устройствах индуктивно связанных RFID систем.

Сила магнитного поля  $H$  уменьшается по мере того, как точка измерения перемещается от центра к оси катушки (ось  $x$  на рис. 1.2). Напряженность поля уменьшается на 60 дБ на декаду в ближайшем поле катушки. Контур напряженности поля вдоль оси  $x$  катушки может быть рассчитан с помощью уравнения (1.3).

$$H = \frac{I \cdot N \cdot r^2}{2\sqrt{(r^2 + x^2)^3}} \quad (1.3)$$

Здесь  $N$  - число обмоток,  $r$  – радиус окружности и  $x$  представляет собой расстояние от центра катушки в направлении  $x$ . Это уравнение правдиво только тогда, когда  $d < r$  и  $x < \lambda/2\pi$ . Переход в электромагнитное дальнее поле происходит тогда, когда  $x$  превышает  $\lambda/2\pi$ .

В центре антенны,  $x = 0$ , уравнение (1.3) может быть упрощено до:

$$H = \frac{I \cdot N}{2r} \quad (1.4)$$

Магнитный поток и плотность магнитного потока. Магнитный поток является мерой количества магнитного поля, проходящей через данную поверхность и выражается в  $\Phi_m$ .

Плотность магнитного потока является количеством магнитного потока на единицу площади сечения, перпендикулярной к направлению потока.

Математическое представление магнитной плотности поля можно увидеть в уравнении (1.5).

$$B = \frac{\phi_m}{A} \quad (1.5)$$

Здесь  $B$  является плотностью магнитного потока в тесла (Т),  $\phi_m$  является магнитным потоком в веберах ( $W_b$ ) и  $A$  является площадью в квадратных метрах ( $m^2$ ).

Отношения между потоком плотности  $B$  и напряженностью поля  $H$  выражается в уравнении (1.6):

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H = \mu \cdot H \quad (1.6)$$

Здесь  $\mu_0$  - коэффициент магнитного поля ( $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$  Н/м), который описывает проницаемость вакуума. Переменную  $\mu_r$  называют относительной проницаемостью, она показывает, насколько больше или меньше проницаемость материала, чем  $\mu_0$ .

Индуктивность,  $L$ . Когда ток течет в проводнике любой формы, магнитное поле генерируется вокруг него. Магнитное поле будет сильнее, если проводник выполнен в виде катушки. Катушка состоит из  $N$  контуров одной и той же области  $A$ , через который течет такой же ток  $I$ . Каждый контур вносит равное количество потока. Общий поток  $\Psi$  может быть выражен как:

$$\Psi = \sum_N \phi N = N \cdot \phi = N \cdot \mu \cdot H \cdot A \quad (1.7)$$

Отношения между током и магнитным потоком называется индуктивностью и обозначается буквой  $L$ :

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N \cdot \phi}{I} = \frac{N \cdot \mu \cdot H \cdot A}{I} \quad (1.8)$$

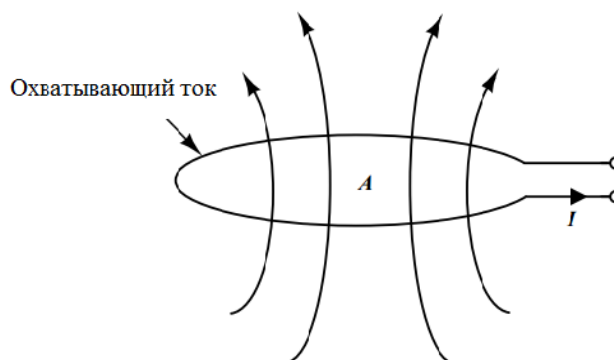


Рисунок 1.3 – Определение индуктивности L

Индуктивность контура проводника зависит от геометрии схемы и проницаемости среды, через которую течет поток.

Взаимная индуктивность, M.

Взаимная индуктивность описывает соединение двух схем с магнитным полем и всегда существует между двумя электрическими схемами. Его блок и размеры такие же, как для индуктивности. Взаимная индукция это физический принцип, на котором основана RFID система.

Если второй контур проводника с площадью  $A_2$  расположен в непосредственной близости от первого контура проводника с площадью  $A_1$ , через который протекает ток, то это приведет к части общего магнитного потока, проходящего через  $A_1$ , и также через  $A_2$ . Два контура проводника, называющихся катушками, взаимосвязаны этим потоком. Величина потока сцепления  $\Psi_{21}$  зависит от положения по отношению друг к другу, от магнитного свойства среды и от размеров катушек. Отношение порционного потока  $\Psi_{21}$ , заключенного второй катушкой, к току  $I_1$  в первой катушке равна взаимной индуктивности  $M_{21}$  второй катушки по отношению к первой катушке, как показано в уравнении (1.9).

$$M_{21} = \frac{\Psi_{21}(I_1)}{I_1} = \oint_{A_2} \frac{B_2(I_1)}{I_1} \cdot dA_2 \quad (1.9)$$

Для взаимной индуктивности  $M_{12}$ , поток сцепления  $\Psi_{12}$  в первой катушке определяется током  $I_2$ , протекающего через вторую катушку.

Отношения между взаимными индуктивностями заключается в следующем:

$$M = M_{12} = M_{21} \quad (1.10)$$

Если магнитное поле однородное, взаимная индуктивность  $M_{12}$  между двумя катушками может быть вычислена с использованием уравнения (3.9). Полученное уравнение имеет следующий вид:

$$M_{12} = \frac{B_2(I_1) \cdot N_2 \cdot A_2}{I_1} = \frac{\mu_0 \cdot H(I_1) \cdot N_2 \cdot A_2}{I_1} \quad (1.11)$$

При замене  $H(I_1)$  с выражением в уравнении (1.11), и подставляя  $A_2$  с  $r_2^2 \pi$ , получается уравнение (1.12).

$$M_{12} = \frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot r_1^2 \cdot N_2 \cdot r_2^2 \cdot \pi}{2\sqrt{(r_1^2 + x^2)^3}} \quad (1.12)$$

Это уравнение имеет силу только тогда, когда  $x$  оси двух катушек лежат в одной плоскости и  $A_2 \leq A_1$ .

Коэффициент связи. Коэффициент связи это удобный способ задать степень электрической связи, которая существует между двумя цепями. Коэффициент связи  $K$  выражается как

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (3.13)$$

где  $0 \leq K \leq 1$ . Величина  $K$ , близкая к 0, равна высокой развязки в результате, например, расстояние, близкое к 1, равна сильной связи. Если  $K = 1$ , то обе катушки могут быть предметом того же магнитного потока.

Закон Фарадея. Изменение магнитного потока порождает напряженность электрического поля  $E_i$  и это описывается законом Фарадея. Эффект этого электрического поля зависит от материала его окрестности. Закон Фарадея в общем виде записывается как:

$$u_i = \oint E_i \cdot ds = -\frac{d\Psi(t)}{dt} \quad (1.14)$$

Для катушки с  $N$  обмотками, уравнение (1.14) может быть выражено как:

$$u_i = N \cdot \frac{d\Psi}{dt} \quad (1.15)$$

Вариант времени тока  $i_1(t)$ , в первой катушке генерирует вариант времени магнитного потока  $d\varphi(I_1)/dt$ , что приводит к напряжению, индуцированному в обеих катушках. Мы можем различить два случая - самоиндукции и взаимной индукции. Для самоиндукции измененный поток, генерируемый изменением тока, индуцирует напряжение в одной и той же цепи проводника. Для взаимной индуктивности изменение потока, генерируемое изменением тока, индуцирует напряжение в цепи к прилегающему схеме проводника. На рисунке 1.4 показана эквивалентная электрическая схема для связанных катушек. В RFID системе  $L_1$  будет передатчиком антенны считывателя, а  $L_2$  целевой антенной.

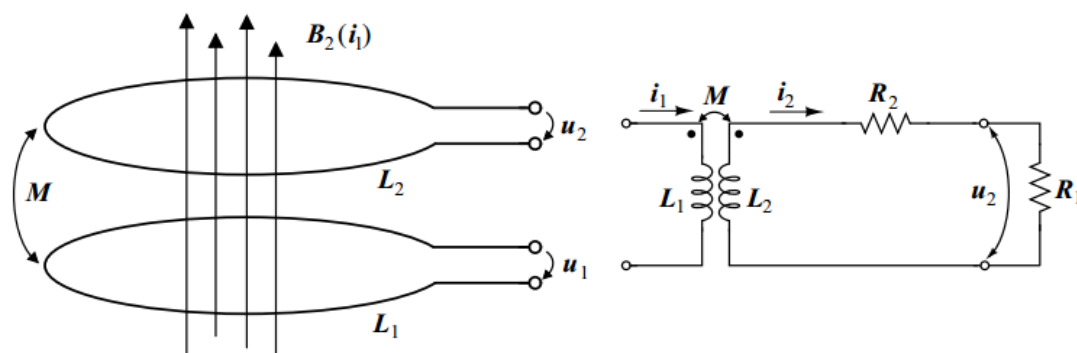


Рисунок 1.4 – Катушки и эквивалентная схема для катушек

Ток потребления микросхемы символизируется нагрузкой сопротивления  $R_L$ . Поток в первой катушке  $L_1$ , изменяющийся во времени, вызывает напряжение  $u_{2i}$  во второй катушке  $L_2$  из-за взаимной индукции. Падение напряжения параллельно сопротивлению катушки  $R_2$  создается за счет прохождения тока, что означает, напряжение  $U_2$  может быть измерено параллельно  $R_L$ . Дополнительный магнитный поток против магнитного потока  $\Psi_1(I_1)$  генерируется за счет тока, протекающего через  $L_2$ . Это суммируется в уравнении (1.16).

$$u_2 = + \frac{d\Psi_2}{dt} = M \frac{di_1}{dt} - L_2 \frac{di_2}{dt} - i_2 R_2 \quad (1.16)$$

Поскольку  $i_1$  и  $i_2$  обычно синусоидальные переменные токи, уравнение (1.16) можно записать в комплексной записи:

$$u_2 = j\omega M \cdot i_1 - j\omega L_2 \cdot i_2 - i_2 R_2 \quad (1.17)$$

Если  $i_2$  заменяется  $u_2/R_L$  в уравнении (1.17), то уравнение для  $u_2$  может быть решено, как видно в уравнении (1.18).



$$u_2 = \frac{j\omega M \cdot i_1}{1 + \frac{j\omega L_2 + R_2}{R_L}} \begin{cases} R_L \rightarrow \infty : u_2 = j\omega M \cdot i_1 \\ R_L \rightarrow 0 : u_2 \rightarrow 0 \end{cases} \quad (1.18)$$

Ток, протекающий через  $L_2$ , будет меняться при изменении  $R_L$ . Со времени, когда магнитный поток сгенерируется в  $L_2$  будет противодействовать поток от считывателя, будут изменения в поле считывателя. Это изменение может быть обнаружено на стороне устройства считывания, и если скорость, которую нагрузочное сопротивление включит и выключит, управляется данными, по той же схеме будут обнаружены на считывателе.

## 2 Ближняя бесконтактная связь (NFC)

Развитие NFC технологии было начато компаниями Sony и Philips. Оно состоит из интерфейса и протокола, разработанных на вершине RFID, что делает NFC устройство частью этого стандарта и совместимым с уже существующей RFID технологией.

Ключевой особенностью, которая отличает NFC от RFID, является возможность двунаправленной передачи информации, которая допускает двустороннюю связь между NFC устройствами. Для подключения двух устройств вместе, один просто подносится близко ко второму или просто физически касается другого. Протокол NFC затем автоматически настраивает их для связи в одноуровневой сети.

В пассивном режиме связи, только одно устройство генерирует РЧ поле, другое устройство использует модуляцию нагрузки для передачи данных. Это идеальный сценарий для мобильных телефонов, он позволит им взаимодействовать с другими устройствами, такими как ноутбуки, сохраняя при этом расход заряда батареи низким.

### 2.1 NFC приложения

NFC имеет несколько областей применения. Основная идея заключается в замене кошельков людей с цифровыми платежами через мобильный телефон. Мобильные телефоны и сим-карты, которые могут хранить и запускать различные программные приложения, делают мощную платформу для пользования вместе с NFC. Перспективными направлениями являются оплата общественного транспорта, замена кредитной карты и реклама. Дальнейшие возможности это удостоверения личности, электронные ключи,

конфигурация и настройка других протоколов связи, таких как Bluetooth и ЛВС.

Магнитная полоса и чип-карты, используемые сегодня, имеют ограниченный срок службы и они уязвимы к размагничиванию и поломкам. Они могут быть заменены режимом эмуляции карты NFC, и таким образом количество карт, используемых в повседневной жизни также будет сокращена.

Реклама в виде смарт-плакатов также является интересной особенностью. Для этих услуг, телефон выступает в качестве NFC считывателя, и собирает информацию из тегов через модуляцию нагрузки. Тег может содержать всю необходимую информацию или тег может дать URI, объединенный с командой телефона так, что пользователь будет перенаправлен на номер телефона или на веб-сайт, чтобы завершить службу.

## 2.2 Поставщики NFC чипов

Крупнейшим поставщиком NFC чипов на сегодня является NXP Semiconductors, который поставляет несколько производителей телефонов, таких как Nokia и Samsung, с чипами. Текущими NFC решениями являются все автономные чипы, но будущие чипы будут включать другие беспроводные технологии, такие как Bluetooth или ЛВС. Другие производители чипов включают Inside Contactless, ST Microelectronics, Texas Instruments, Broadcom, Polaric и т.д.

## 3 РЧ и цифровой интерфейс

### 3.1 Интерфейс РЧ сигнала

Спецификации радиочастот:

- частота несущей  $f_c$  - 13,56 МГц  $\pm$  7 кГц;
- считыватель генерирует РЧ поле, по крайней мере,  $H_{\min} = 1.5$  А/м в пределах своего определенного объема работы;
- считыватель не генерирует РЧ поле выше, чем  $H_{\max} = 7.5$  А/м в любой точке;
- если внешнее РЧ поле со значением напряженности поля равно или больше, чем  $H_{\text{threshold}} = 0.1875$  А/м, то внутреннее РЧ поле должно быть выключено.

Продолжительность бита. Продолжительность бита  $b_D$  в NFC зависит от режима связи и скорости передачи данных, выбранного инициатором, который инициализирует связь. Продолжительность бит может быть рассчитан по следующей формуле:

$$b_D = \frac{128}{D \cdot f_c} s \quad (3.1)$$

где  $f_c$  является несущей частотой, и значение делителя  $D$  зависит от скорости передачи данных и задается в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Определение делителя  $D$ , начальная битовая скорость определяется инициатором

Режим связи	Кбит/с	D
Активный или пассивный	106	1
Активный или пассивный	212	2
Активный или пассивный	424	4

В активном режиме связи, спецификации должны быть всегда одинаковы для обеих связей. В самой низкой скорости передачи данных, поддерживаемой NFC, начальная скорость передачи данных должна быть 106 кбит ( $f_c/128$ ). Для этой продолжительности бита инициатор должен использовать 100% ASK модуляцию РЧ операционного поля, чтобы генерировать импульсы, как показано на рисунке 3.1. Огибающая поля должна уменьшаться монотонно, менее 5% от начального значения  $N_{INITIAL}$ , и оставаться менее 5% в течение времени, большего чем  $t_2$ , см. таблицу 5.2.

Выбросы должны оставаться в пределах 90% и 110% от  $N_{INITIAL}$ . Таргет должен обнаружить "конец пульса" после того, как поле превысит 5% от  $N_{INITIAL}$  и прежде, чем он превысит 60% от  $N_{INITIAL}$ , как определено  $T_4$  в таблице 3.2 .

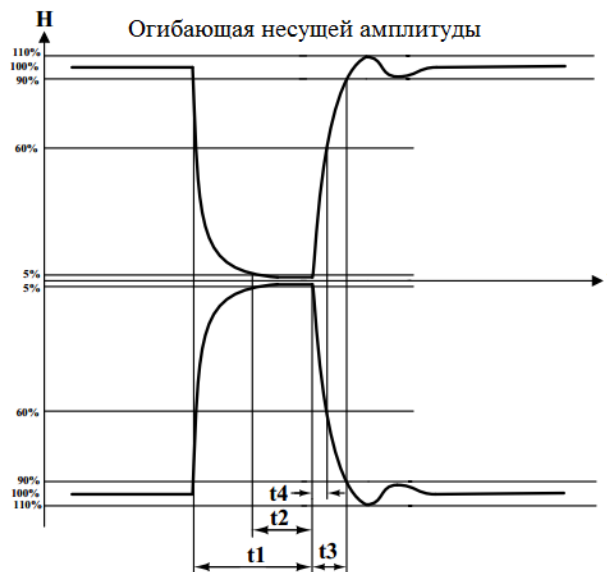


Рисунок 3.1 – Форма импульса 100% ASK модуляции

Таблица 3.2 - Определение временных интервалов на рисунке 3.1

Длина импульсов (Состояние)	t1 (мс)	t2 (мс)		t3 (мс)	t4 (мс)
		(t1 ≤ 2.5)	(t1 ≥ 2.5)		
Максимум	3.0	t1		1.5	0.4
Минимум	2.0	0.7	0.5	0.0	0.0

Кодирование байта должно быть LSB первым для битовой скорости 106 кбит. При передаче данных, следующее кодирование используется для представления бита:

- начало связи: в начале продолжительности бита должен произойти "пульс";

- один: через половину времени продолжительности бита должен произойти "пульс";

- ноль: Для полной продолжительности бита, не должна произойти модуляция, за исключением следующих двух случаев:

- 1) если есть два или более последовательных нулей, от второго нуля к "пульсу" должна произойти в начале битовой продолжительности;

- 2) если первый бит после "начала связи" равен нулю, "пульс" должен произойти в начале длительности бита;

- конец связи: ноль следует за одной битовой продолжительностью без модуляции;

- нет информации: должны быть закодированы, по крайней мере, две полных битовых продолжительностей без модуляции.

Этот метод называют Модифицированной кодировкой Миллера.

Когда связь с более высокой скоростью передачи данных выбирается инициатором, то используется другая схема. Битовая скорость для передачи во время инициализации должна быть 212 кбит ( $f_c/64$ ) или 424 кбит ( $f_c/32$ ), соответственно.

Используемая схема модуляции еще ASK, но с индексом модуляции от 8% до 30% от рабочего поля, в среднем 10% ASK. Сигнал модуляции должен соответствовать с рисунком 3.2. Рост и падение края модуляции должны быть монотонными. Модуляции для передачи во время инициализации и обнаружение одного устройства должны быть такими же. Пик и амплитуда минимального сигнала определяются а и б.

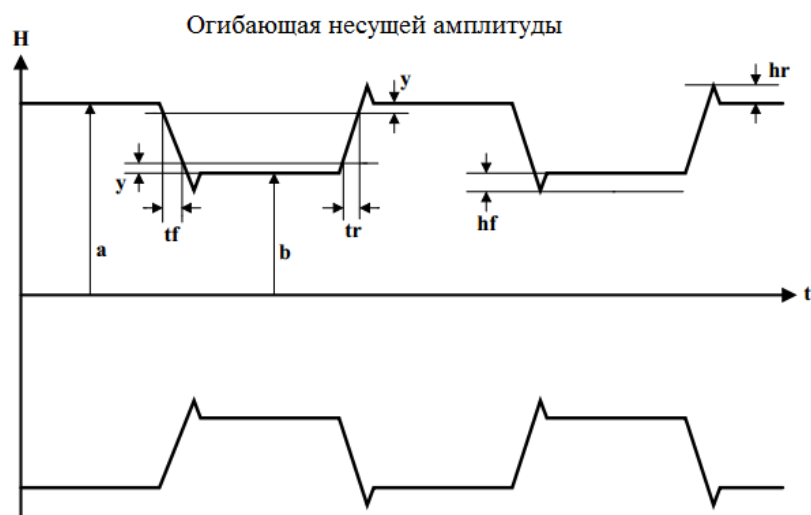


Рисунок 3.2 – Сигнал 10% ASK модуляции

Таблица 3.3 - Определение временных интервалов на рисунке 3.2

	212 кбит/с	424 кбит/с
$t_f$	2.0 мс макс	1.0 мс макс
$t_r$	2.0 мс макс	1.0 мс макс
$y$	0.1 (a-b)	0.1(a-b)
$h_f, h_r$	0.1(a-b) макс	0.1(a-b) макс

Кодирование байта должно быть MSB первым и представление бита должно быть кодированием Манчестера с лицевой амплитудой, как показано на рисунке 3.3. Обратная полярность допускается в амплитуде символов Манчестера. Таргет должен реагировать с одной и той же схемой модуляции нагрузок, но продолжительность бита кодирования Манчестера должна быть изменена таким образом, чтобы она соответствовала  $b_D$ , связанные с фактической скоростью передачи в битах. Кодирование байта должно быть MSB в этом направлении тоже.

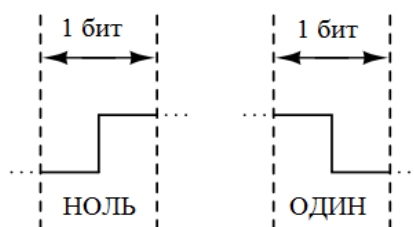


Рисунок 3.3 – Битовая кодировка Манчестера с лицевой амплитудой

Пассивный режим связи. В пассивном режиме связи спецификации слегка отличаются для связи инициатора к таргету и таргета к инициатору.

Инициатор к таргету. Модуляция, кодирование байта, представление байта и кодирование для разных битовых скоростей от инициатора к таргету должны быть такими же, как в активном режиме связи с соответствующей скоростью передачи данных.

Таргет к инициатору. Таргет должен отвечать через модуляцию нагрузки, генерирующую поднесущую с частотой  $f_s = f_c/16$ . Амплитуда модуляции нагрузки должна превышать минимальное значение по отношению к напряженности настоящего магнитного поля. Представление битов осуществляется кодированием Манчестера с лицевой амплитудой. Байты должны быть закодированы с LSB первыми для битовой скорости 106 кбит и MSB первыми для высокой битовой скорости.

### 3.2 Интерфейс цифрового сигнала

Последовательности. Входящий или исходящий сигнал называется последовательностью. Приемное устройство нуждается в информации о том, когда начинать и останавливать демодуляцию, и как распознать последовательность. Таким образом, последовательность всегда начинается и заканчивается с определенной битовой комбинации.

Время начала и окончания шаблона помогают приемному устройству синхронизировать с отправителем и определять действительную последовательность, и следовательно, позволяют извлечь информацию, включенную в последовательность. Информация транспортируется в последовательности и представляет собой набор битов, включенных в кадр.

Кадры. Данные, передаваемые между инициатором и таргетом, сгруппированы в кадры. Формат кадра отличается между инициализацией и передачей данных в пассивном режиме связи.

Два типа кадров данных используются для пассивной связи в 106 кбит. Во время инициализации используются короткие кадры. Короткие кадры состоят из 7 битов данных, вместе с начальным и конечным битом. См. рисунок 3.4.

	бит 0	бит 1	бит 2	бит 3	бит 4	бит 5	бит 6	
Начало	Команда						Конец	

Рисунок 3.4 – Короткие кадры

Для обмена данными в 106 кбит, используются стандартные кадры и структура показана на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Формат кадра для 106 кбит

Начальный байт SB должен быть установлен в 0xF0. Длина байта LEN должен быть установлен к длине поля переносных данных плюс 1. Значение LEN должно быть в интервале от 3 до 255. CMD0 и CMD1 являются командными байтами. E1 является CRC для формата кадра в 106 кбит. LSB каждого байта должны быть переданы первыми. Каждый байт должен сопровождаться нечетным битом.

Для кадров данных используется пассивный режим связи в 212 и 424 кбит. Структура кадра показана на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Формат рамки для 214 и 424 кбит

Связь начинается с вводной последовательностью (ВП) не менее 48 битов со всеми логическими "нулями" кодирования. Синхронизация SYNC содержит два байта и должна быть установлена в 0xB2 и 0x4D. Байт LEN должен быть установлен к длине поля для переносных данных плюс 1. Значение LEN должно быть в диапазоне от 3 до 255. E2 - CRC для формата кадра в 212 и 424 кбит.

В активной связи, формат кадра для инициализации не отличается от формата кадра для обмена данными. Связь в 106 кбит делается с форматом кадра, показанной на рисунке 5.2.2 и связи на более высоких битовых скоростях осуществляется в формате кадра, показанной на рисунке 3.6.

### 3.3 Модуляция

Модуляция нагрузки. Использование принципа модуляции нагрузки, данных из пассивного таргета может быть передано обратно считывателю. Если таргет с резонансной частотой, равной частоте передачи считывателю, расположен в пределах переменного магнитного поля антенны считывателя, таргет будет получать питание от магнитного поля. Когда сопротивление нагрузки включен и выключен к таргету, напряжение меняется на антенне считывателя из-за изменения импеданса в таргете, в результате амплитудной модуляции в антенне считывателя. Это верно, когда таргет расположен в пределе ближнего поля антенны считывателя. Переход к дальнему полю происходит в  $0.16 \lambda$ . Если данные на чипе контролирует расчет времени, с которым включен сопротивление нагрузки, то эти данные могут быть отправлены от таргета считывателю.

Модуляция с поднесущей. Из-за слабого коэффициента соединения между считывателем и антенной, реакция таргета составляет примерно на 80 дБ ниже, чем напряжение, генерируемое считывателем. Обнаружение такого сигнала требует сложной схемы приема. Вместо использования прямой модуляции нагрузки, таргет использует частоту поднесущей  $f_s$ , чтобы модулировать данные.

Когда в таргете включается и выключается дополнительное сопротивление нагрузки с высокой частотой  $f_s$ , две боковые полосы модуляции создаются на расстоянии  $\pm f_s$  от несущей частоты считывателя  $f_c$ , см. рисунок 3.7.

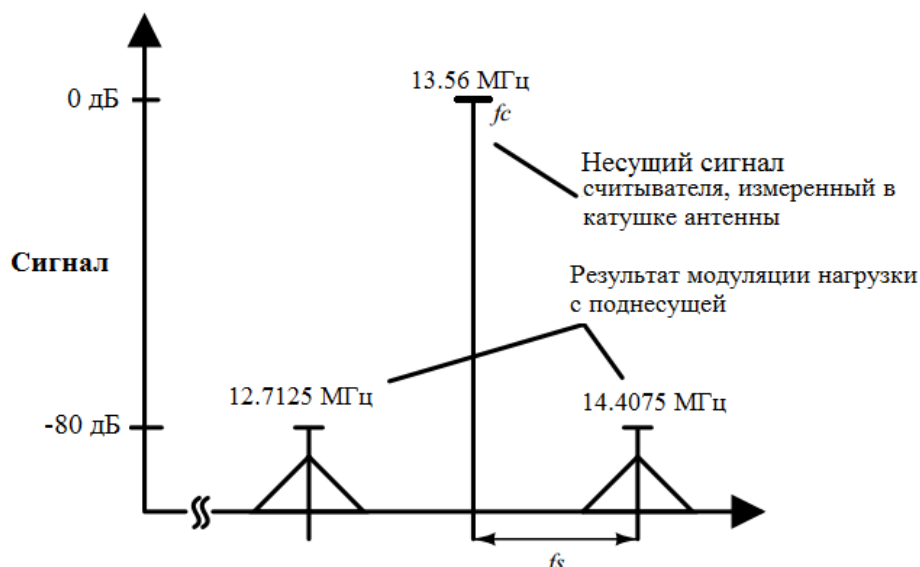


Рисунок 3.7 – Программа модуляции использует модуляцию нагрузки с поднесущей



Чтобы отделить боковые полосы от значительно более сильного несущего сигнала, используется полосовая фильтрация. Фильтрованного поднесущего сигнала затем усиливают в считывателе, облегчая его для демодуляции.

Процедура для модуляции нагрузки поднесущей заключается в следующем:

- таргет генерирует поднесущую частоту  $f_s = f_c/16 = 847.5$  кГц для скорости передачи данных 106 кбит;
- данные кодируются с помощью кодирования Манчестера;
- манчестер кодирует данные, затем модулируется на поднесущей частоте.

- и, наконец, модуляция нагрузки поднесущей завершена.

Две боковые полосы в настоящее время генерируются за счет модуляции нагрузки поднесущей. Верхняя боковая полоса расположена на 14,0475 МГц, а нижняя на 12,7125 МГц.

На рисунке 3.8 показан метод модуляции нагрузки с поднесущей.

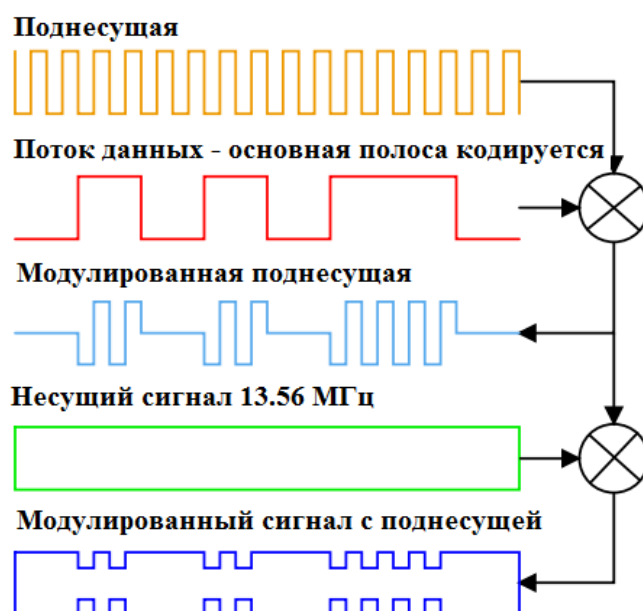


Рисунок 3.8 – Пошаговая генерация модулированного сигнала с поднесущей

Методы цифровой модуляции. В NFC, передача данных стало возможным благодаря ASK, PSK или FSK модуляциям поднесущей во времени с потоком данных.

ASK - Кодирование со сдвигом амплитуды является одним из видов цифровой модуляции, который показывает цифровые данные в виде колебания амплитуды несущей волны. Для двоичных уровней, 1 представлена стандартной несущей волной, а 0 представляет собой несущую волну с

нулевой амплитудой. Этот тип ASK называется 100% ASK или кодированием включения/выключения и является основным способом ASK. Процент определяет насколько уменьшается амплитуда, например, 30% ASK будет означать, что логический уровень 0 снижает уровень амплитуды на 70% по сравнению с уровнем амплитуды логической 1.

PSK - Кодирование со сдвигом фазы является другим типом цифровой модуляции. Оно показывает цифровые данные в виде колебания фазы несущей волны. Для двоичной фазовой модуляции BPSK, сдвиг составляет 180 градусов и для квадратурной фазовой модуляции QPSK фазовый сдвиг равен 90 градусов. Использование QPSK над BPSK позволяет либо высокую скорость передачи данных, или более низкие требования к пропускной способности в зависимости от необходимости.

FSK - Кодирование со сдвигом частоты показывает цифровые данные в виде колебания частоты несущей волны. Для двоичной частотной модуляции BFSK логический 0 представлен одной частотой, а логическая 1 другой частотой.

#### **4 Регулирование напряженности динамического поля NFC-устройства для уменьшения энергопотребления**

Near Field Communication (NFC) является одной из форм связи, которая позволяет передавать данные на короткие расстояния (2-10 см) без усложнения механизмы сопряжения. Интеграция технологии в мобильные устройства приводит к увеличению разряда батареи. Этот разряд является результатом встроенного Reader-IC для включения NFC. Reader-IC генерирует магнитное поле для связи и передает мощность транспондеру. Выходная мощность установлена на максимальное значение для обеспечения ожидаемого расстояния передачи независимо от типа тега, что производит потери в схеме антенны [11].

В настоящее время предложенные методы регулирования напряженности поля не учитывают динамическое поведение коэффициента физического соотношения в процессе связи. Эта динамика происходит потому, что транспондер проводится пользователем по направлению к считывателю, это приводит к изменениям в положении и расстоянии во времени [12].

В работе применяется метод, который позволяет регулировать напряженность магнитного поля, в качестве параметра используя коэффициент физического соотношения. Коэффициент физического соотношения в данном исследовании аналогичен коэффициенту взаимной индуктивности  $k$ . Он используется, чтобы описать косвенное соотношение

связи между считывателем и транспондером. Чем больше поднимается коэффициент, тем меньше устанавливается взаимосвязь [13].

Партнеры передачи состоят из считывателя и транспондера, которые сближаются для установления соединения, они представлены на рисунке 1. Коэффициент соотношения зависит от расстояния между ними, когда находятся в соосной ориентации друг к другу.

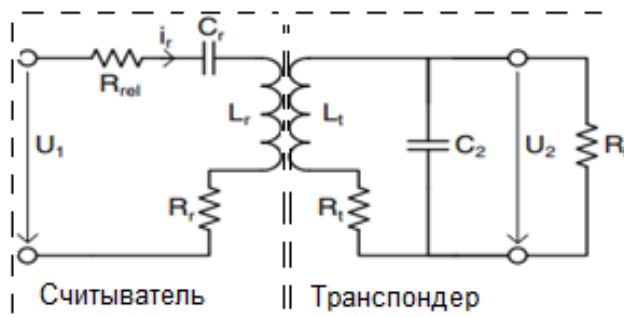


Рисунок 4.1 – Схема контура считывателя и транспондера

Формула (4.1) используется для модели напряженности магнитного поля считывателя, которая спровоцируется электрическим током. Она показывает зависимость напряженности магнитного поля со стороны транспондера к поставляемому току считывателя, на основе закона Био-Савара для прямоугольной формы катушки.

$$H = \frac{i_r \cdot N_r \cdot a_r \cdot b_r}{4\pi \cdot \sqrt{\left(\frac{a_r}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_r}{2}\right)^2 + d^2}} \cdot \left( \frac{1}{\left(\frac{a_r}{2}\right)^2 + d^2} + \frac{1}{\left(\frac{b_r}{2}\right)^2 + d^2} \right), \quad (4.1)$$

где  $N_r$  - число витков катушки считывателя,  
 $a_r, b_r$  - размер прямоугольной катушки считывателя,  
 $d$  - расстояние между катушками считывателя и транспондера в предположении коаксиальной ориентации.

Формула (4.2) необходима для расчета взаимной индуктивности в соответствии с напряженностью магнитного поля на стороне транспондера. Коэффициент рассчитывается с помощью формулы (4.3) [13].

$$M_{12} = \frac{\mu_0 \cdot H \cdot N_t \cdot a_t \cdot b_t}{i_r}, \quad (4.2)$$

где  $N_t$  - число витков катушки транспондера,  
 $a_t, b_t$  - размер прямоугольной катушки транспондера.

$$k = \frac{M_{12}}{\sqrt{L_r \cdot L_t}}, \quad (4.3)$$

где  $L_r$ ,  $L_t$  - индуктивности считывателя и транспондера соответственно.

Программа эксперимента включает:

- оценку изменения напряжения поля считывателя при различных расстояниях от транспондера;
- оценку влияния алгоритма управления напряжением.

На рисунке 4.2 представлен график зависимости между напряжением транспондера и расстоянием до считывателя с несколькими значениями эквивалентного выходного напряжения.

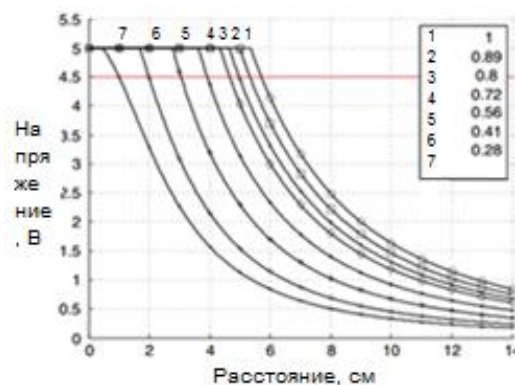


Рисунок 4.2 – Зависимость между напряжением транспондера и расстоянием до считывателя

Из рисунка 4.2 видно, что увеличение расстояния между считывателем и транспондером приводит к снижению напряжения. Чем выше значение выходного напряжения, тем ниже соответствующее напряжение на стороне транспондера.

Для оценки метода в плане общего энергопотребления и избежании ненасыщенности транспондера, используется вариант считывания определенных цифровых визиток. Он состоит из простого механизма обнаружения карты и процедуры чтения. Процедура чтения использует две различные реализации для сравнения. Реализация первая включает метод регулирования. Вторая реализация не использует регулирование напряженности поля. Эти реализации моделируются и выполняются.

Для регулирования нужно установить минимальный ток  $i_f$  на стороне считывателя, не рискуя ненасыщенностью транспондера, когда меняется  $k$ . Для этого используется цифровое управляемое сопротивление  $R_{rel}$  на канале передачи [12]. Разработанный алгоритм устанавливает  $R_{rel}$  на определенное значение и увеличивает расстояние до того момента, пока транспондер

перестанет реагировать. Если напряжение питания падает ниже нужного порога, то достигается точка возникновения ненасыщенности. Этот минимальный  $i_r$  приводит к минимальной напряженности поля на считывающей стороне, т.к. напряженность магнитного поля не может непосредственно измеряться, а ток передачи считывателя  $i_r$  ему прямо пропорционален.

С этого полученного порогового значения может быть регулировано значение потребляемой энергии считывателя. Согласно алгоритму процедуры, представленной на рисунке 4.3, если текущий ток падает ниже порогового значения, напряженность увеличивается, и уменьшается в случае превышения текущего тока порогового значения.

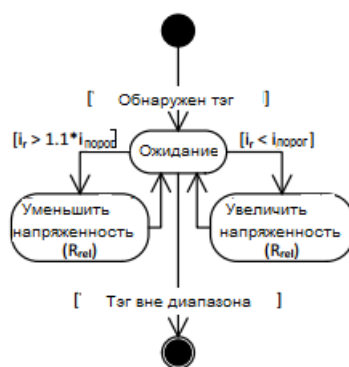


Рисунок 4.3 – Алгоритм для регулирования напряженности поля

Компоненты, описанные ниже, должны быть интегрированы в NFCSystem как показано на рисунке 4.4. Интеграция предназначена таким образом, чтобы избежать изменений в функциональной реализации системы. Компонентами схемы являются Регулятор напряженности поля, Блок прогнозирования мощности и Блок считывания коэффициента физического соотношения.

Регулятор напряженности поля является ядром блока, который принимает события от двух других компонентов. Первое событие вызывается с помощью блока прогнозирования мощности, когда запускается операция (считывание, аутентификация транспондера). Поэтому все операции для отправки транспондеру передаются через данный блок. Второе событие вызывается компонентом блок считывания коэффициента, когда происходит смена напряженности магнитного поля. Этот компонент периодически измеряет ток передачи  $i_r$ . Основной компонент использует эти события и пороговые значения для правильного регулирования напряженности магнитного поля.

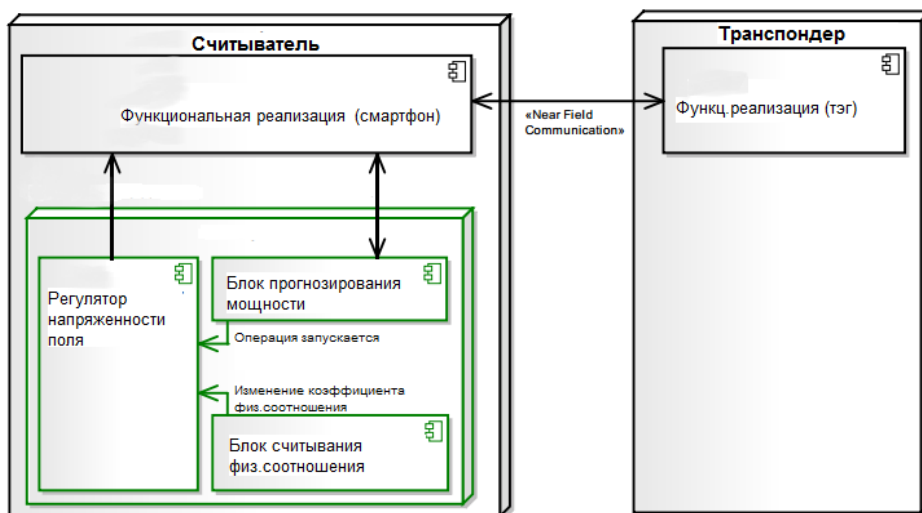
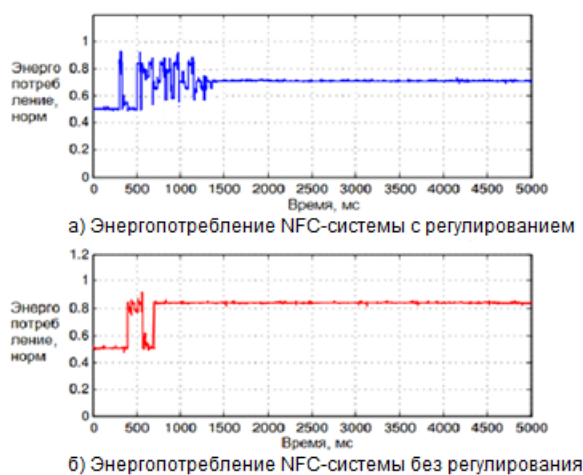


Рисунок 4.4 – Компонентная модель применения метода регулирования

Чтобы проверить возможности метода регулирования на реальном оборудовании, реализация была применена на существующей NFCSystem, используя операционную систему Андроид. Система помещена внутри аппаратуры в комплекте измерений контура [12]. Результаты показаны на рисунке 4.4, где измеряется энергопотребление во время простого обнаружения тега. Расстояния между считывателем и меткой изменяются для проверки функциональности программы и оценивает ее влияние на энергопотреблении. Окно измерения устанавливается в 5000 мс.



а) с регулированием; б) без регулирования  
Рисунок 4.5 – Результаты измерений реализаций:

Из рисунка 4.5 видно, что среднее снижение необходимой энергии достигает значения 12,29 % , которое производится на расстоянии 4 см. Сравнение энергопотреблений во время реализаций с регулированием и без регулирования показывают, что процесс изменения сопротивления имеет затухающий характер (а) и занимает в 2 раза больше времени по сравнению с простым обнаружением, заканчиваясь за 1300 мс.

Вывод. Предлагаемый метод способен уменьшить расход энергии в мобильном устройстве во время NFC соединения, регулируя напряженность поля. При расчете потребляемой мощности считывания на реальном оборудовании, энергия, необходимая на передачу снижается на 12% по сравнению с простым методом обнаружения карты для расстояния 4 см.

## 5 Стандартизация

NFC уже готова стать частью повседневной жизни, и для того, чтобы добиться успешного принятия у потребителей этой технологии, задействованные компании должны работать в тесном контакте и приложения должны быть совместимы.

NFC описан в двух стандартах интерфейса и протокола Near Field Communication Interface and Protocol 1 (NFCIP-1, ECMA- 340/ISO 18092) и 2 (NFCIP-2, ECMA- 352/ISO 21481). NFC построена на стандартной RFID ISO 14443 и указана в стандарте ISO 18092 в 2003 году и позже в ECMA-340. Технические требования к испытаниям для радиочастотного интерфейса находятся в ECMA- 356/ISO 22536 и испытания протокола указаны в ECMA - 362/ISO 23917.

NFC включает бесконтактные карты обоих типов А и В вместе с Felica, и следовательно, может показать базовую функциональную совместимость и передаваться с уже существующей инфраструктурой считывателя. NFCIP-2, который определен в стандарте ISO/IEC 21481 и ECMA-352, является шлюзом между существующими стандартами интерфейса.

В 2004 году был сформирован NFC форум, с основными целями содействия использованию технологии NFC в потребительских устройствах и сервисах, предоставления широкой среды для совместимых приложений спецификациями на основе развивающихся стандартов, и гарантирования, что продукты и устройства утверждают о соответствии NFC спецификациям форума. Форум NFC является некоммерческой ассоциацией с целью оценки технологий и обеспечения совместимости. Таким образом, они развили стандарты, основанные на ISO, ECMA и EMVCo.

## 5.1 ISO/ IEC и ECMA

NFC стандарты ISO/IEC и ECMA являются главным предметом данной работы. Причина этого заключается в том, что РЧ спецификации NFC форума до сих пор не завершены. Стандарты ISO/IEC и ECMA для NFC в основном идентичны и будет настоящим отнесен только как ECMA.

ECMA- 340, NFC - интерфейс и протокол. Этот стандарт определяет режимы связи для NFC интерфейса и протокола (NFCIP-1). Он определяет оба режима коммуникации NFC, активного и пассивного, для того, чтобы реализовать сеть, использующую NFC устройства. Стандарт также определяет РЧ поле, интерфейс РЧ сигнала, общий поток протоколов, инициализацию, транспортный протокол и включает в себя методы вычисления CRC в приложениях к нему.

Спецификации испытания для ECMA-340 являются ECMA-356, метод испытания радиочастотный интерфейс и ECMA-362, метод испытания протокола. ISO вариантом этого стандарта является ISO 18092.

5.1.2 ECMA-356, методы испытаний РЧ интерфейса. Этот стандарт испытаний определяет тестовую настройку, используемую для NFC устройств и испытывает на соответствие для РЧ интерфейса. ISO вариантом этого стандарта является ISO 22536. Испытательная установка, используемая при диссертации, собрана согласно этому стандарту.

Испытательная установка. Испытательная установка состоит из калибровочной катушки, контрольного устройства и двух опорных устройств. Контрольное устройство само состоит из двух чувствительных катушек, соединенных с уравнивающей платой, и антенны, генерирующей поле, как показано на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 – Контрольное устройство



Калибровочная катушка. Стандарт ЕСМА-356 описывает расположение калибровочной катушки, которая допускает измерение напряженности магнитного поля в диапазоне частот 13,56 МГц. Таким образом, напряженности поля и сигналы инициатора измеряются и проверяются, прежде чем они будут применены к DUT. Калибровочная катушка также может быть использована для измерения уровней ASK модуляции в сигнале считывателя. Во время измерения напряженности поля, особое внимание должно быть уделено на обеспечение того, чтобы калибровочная катушка подвергалась только высоким нагрузкам подключенным измерительным устройством, так как каждый поток тока в калибровочной катушке может исказить результат измерения.

Пробник осциллографа с высоким импедансом (полное сопротивление) (например,  $> 1 \text{ МОм}$ ,  $< 14 \text{ пФ}$ ) должен быть использован для измерения напряжения холостого хода в катушке. Коэффициент калибровки разомкнутой цепи для этой катушки составляет  $0.32 V_{\text{RMS}}$  на А/м. Это эквивалентно  $900 \text{ mV}_{\text{pp}}$  на А/м.

Антенна, генерирующая поле. Точное и воспроизводимое измерение сигнала модуляции нагрузки в антенне считывателя очень трудно из-за слабого сигнала. Стандарт, поэтому, описывает уравнивающую плату, которая может быть использована для компенсации собственного сильного сигнала считывателя. Измерение расхода для этого состоит из генерирующей поле антенны и двух параллельных чувствительных катушек. Антенна, генерирующая поле, должна быть настроена на  $50 \text{ Ом}$  с помощью соответствующей цепи, расположенной на РСВ антенны, используя подходящего измерительного оборудования, например, анализатора импеданса или измерительного моста.

Чувствительные катушки. Две чувствительные катушки расположены на передней и задней части антенны, генерирующей поле, каждая на таком же расстоянии друг от друга. Они подключены в противоположной фазе между собой таким образом, что напряжения, индуцированное в катушках, компенсируют друг друга, см. рисунок 5.2. В разряженном состоянии, выходное напряжение этой схемы, следовательно, стремится к нулю. Низкое остаточное напряжение, которым всегда представляет между двумя чувствительными катушками как результат допустимо связанной асимметрии, может быть компенсировано с помощью потенциометра на уравнивающей плате.

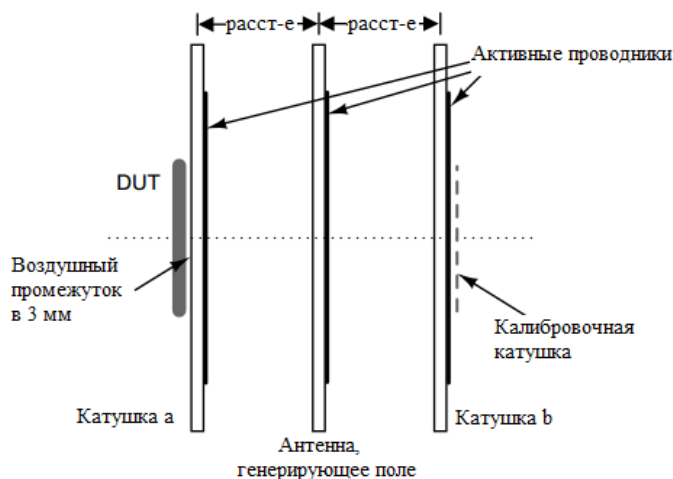


Рисунок 5.2 – Контрольное устройство

Опорные устройства. Опорные устройства необходимы, чтобы иметь возможность убедиться, что инициатор генерирует поле между  $H_{\min}$  и  $H_{\max}$ , когда загруженный таргет находится в пределах объема работы. Инициатор должен быть рассчитан на снабжение таргета достаточной энергией по всему рабочему объему, определяемого для инициатора. Эти устройства также используются для проверки того, что инициатор не генерирует поле сильнее, чем  $H_{\max}$ . Оба устройства используют одну и ту же катушку антенны.

## 5.2 РЧ интерфейс - Испытание таргета

Обнаружение РЧ уровня таргета. Целью этого испытания является проверка того, что устройство обнаруживает внешнее РЧ поле, сильнее или равному  $H_{\text{threshold}}$ , и не активируют свое собственное РЧ поле до тех пор, пока это поле не превысит  $H_{\text{threshold}}$ . Используется контрольное устройство. Чтобы определить напряженность сгенерированного поля, калибровочная катушка соединена с осциллографом. Уровни сигналов, порождающие соответствующие поля РЧ между 0 и  $H_{\max}$ , измеряются без DUT.

DUT установлен в режиме инициатора, пока генератор сигнала установлен для генерирования немодулированного сигнала на несущей частоте 13,56 МГц. Сигнал должен быть увеличен с  $H = 0$  до  $H = H_{\max}$ , где  $H_{\max}$  является максимальным полем, проверенным с калибровочной катушкой без таргета. Осциллограф используется для измерения, при котором значения DUT выключают его РЧ поле. Если DUT выключает его РЧ поле для значений, равных или выше  $H_{\text{threshold}} = 0,1875$  А/м, и включает его РЧ поле для значений ниже  $H_{\text{threshold}}$ , то испытание пройдено.

Пассивный режим связи таргета. Цель этого испытания является определение амплитуды боковых полос на нагрузке модулированного сигнала из

пассивного таргета. Это испытание должно быть выполнено для значений напряженности поля между  $H_{\min}$  и  $H_{\max}$ . Амплитуда должна быть не менее:

$$A_{\min} = \frac{30}{H^{1.2}} mV_p \quad (5.1)$$

Это означает, что для напряженности поля 1,5 А/м ( $H_{\min}$ ) минимальная амплитуда:

$$\frac{30}{1.5^{1.2}} \approx 18.44 mV_p$$

и для напряженности поля 7,5 А/м ( $H_{\max}$ ) минимальная амплитуда  $A_{\min}$  :

$$\frac{30}{7.5^{1.2}} \approx 2.67 mV_p$$

Это испытание должно быть выполнено для трех указанных скоростей передачи, 106 кбит/с, 212 кбит/с и 424 кбит/с. Поскольку для 212 кбит/с и 424 кбит/с используются разные схемы битового кодирования по сравнению с 106 кбит/с, методы испытаний немного отличаются.

В случае 106 кбит/с, команда SENS\_REQ должна быть направлена на DUT, чтобы получить SENS\_RES. Амплитуда верхней боковой полосы на  $f_c + f_s$  и нижней боковой полосы  $f_c - f_s$  применяемых полей и модуляции должны быть измерены в этом испытании. Точно два цикла поднесущих отобранного сигнала модуляции должны быть преобразованы в Фурье. Если амплитуда боковых полос выше  $A_{\min}$ , то испытание пройдено.

Для 212 кбит/с и 424 кбит/с запрос передается на DUT, чтобы получить ответ опроса. Если амплитуда боковых полос выше  $A_{\min}$ , то испытание пройдено. Это испытание должно быть повторено с различными значениями напряженности поля.

Режим активной связи таргета. Цель этого испытания является проверка того, что генерированное РЧ поле и модуляция активных таргетов полны спецификаций, когда напряженность поля варьируется между  $H_{\min}$  и  $H_{\max}$ . Это испытание должно быть выполнено для трех указанных скоростей передачи 106 кбит/с, 212 кбит/с и 424 кбит/с.

Уровни модуляции и формы импульсов, порожденные DUT должны быть проверены. Если коэффициент модуляции таргетов РЧ поля, расчет времени генерации РЧ-поля и последовательность команд на всех скоростях передачи данных соответствуют спецификациям, то испытание пройдено.

Коэффициент модуляции определяется как  $(A-B)/(A+B)$ , где  $A$  и  $B$  являются пиком и минимальной амплитудой сигнала соответственно со значением индекса, выраженного в процентах.

### 5.3 РЧ интерфейс - испытание инициатора

Напряженность поля инициатора. Целью этого испытания является проверка того, что инициатор генерирует поле между  $H_{\min}$  и  $H_{\max}$  во всем рабочем объеме в режиме активной и пассивной связи. Испытание проводят с опорными устройствами.

Для испытания  $H_{\max}$ , опорное устройство настраивается на 19 МГц. Напряжение, измеренное с помощью вольтметра, должно быть 3В DC для поля, равному  $H_{\max}$ . Опорное устройство находится в пределах рабочего объема инициатора. Испытание можно считать пройденным, если напряжение через  $R_2$  на опорном устройстве превышает 3В DC в любом положении или под углом по отношению к DUT.

Для испытания  $H_{\min}$ , опорное устройство настраивается на 13,56 МГц. Напряжение, измеренное через  $R_2$  с помощью вольтметра с высоким импедансом, должно быть 3В DC для поля, равной  $H_{\min}$ . Опорное устройство находится в пределах рабочего объема инициатора. Испытание пройден, если напряжение через  $R_2$  превышает 3В DC в пределах определенного объема работы.

Коэффициент модуляции и формы сигнала инициатора. Цель этого испытания состоит в исследовании сигнала инициатора для гарантии, что коэффициент модуляции, времени превышения, нарастания и спада соответствуют спецификациям в рамках определенного рабочего объема в режиме активной и пассивной связи.

Калибровочная катушка расположена в пределах рабочего объема инициатора. Спецификации модулированного сигнала исследованы с помощью осциллографа, подключенного к калибровочной катушке.

### 5.4 NFC Форум

NFC Форум является группой членов, разрабатывающих NFC спецификации, обеспечивающих совместимость между устройствами и услугами, содействующих использованию технологии NFC. Он был создан в 2004 году и имеет более чем 150 различных членов, начиная от производителей, разработчиков приложений, учреждений финансовых услуг и многих других. NFC Форум помогает всем заинтересованным сторонам в создании новых продуктов и приложений потребителей с помощью обеспеченной базы в технических спецификациях.

Основные цели NFC Форума:

- разработка NFC спецификаций, определяющих архитектуру и взаимодействия параметров, на основе стандартов для устройств и протоколов;

- поощрение развития продуктов с использованием спецификаций Форума;

- работа для соответствия продуктов, претендующих на возможности NFC, спецификациям NFC Форума;

- консультирование потребителей и предприятий по всему миру о NFC.

PC аналоговая техническая спецификация NFC. Этот документ охватывает аналоговый интерфейс устройства NFC Форума. Устройство должно поддерживать равноправный режим инициатора, равноправный режим таргета, режимы чтения/записи и режим эмуляции карты для трех технологий NFC-A, NFC-B и NFC-F для скоростей передачи 106 кбит/с, 212 кбит/с и 424 кбит/с. Цель спецификации - охарактеризовать и определить мощность, передачу, требования приемника, таких как время, частота и спецификации модуляции для устройства NFC Форума без указания конструкция антенны. Одним словом, этот документ обеспечивает спецификацию, которая может использоваться в качестве основы для испытания и утверждений.

Различные NFC технологии, определенные в аналоговой технической спецификации, используют ту же частоту, но используют разные схемы модуляции, кодирования битовой уровни и форматы кадра. Протоколы и команды также могут отличаться. В таблице 5.1 представлены спецификации технологий.

Таблица 5.1 - Сравнение технологий NFC

Технология	Направление	Схема модуляции	Битовое кодирование
NFC-A	Инициатор - Таргет	100% ASK	Модифицированное Миллера
	Таргет - Инициатор	Двоичное шифрование	Манчестера
NFC-B	Инициатор - Таргет	10% ASK	NRZ-L
	Таргет - Инициатор	BPSK	NRZ-L
NFC-F	Оба	10% ASK	Манчестера

NFC Форум - опорные устройства. Для того, чтобы выполнить все различные испытания, указанные в аналоговой спецификации испытаний, требуется количество различных устройств, называемых опорными устройствами опроса и опорными устройствами режима ожидания. Генераторы сигнала и усилители мощности необходимы, чтобы позволить опорным устройствам опроса передавать команды, в то время как ответ из

опорных устройств режима ожидания может наблюдаться, например, через соединенный осциллограф. Опорные устройства опроса используются, когда проверяется устройство режима ожидания, а устройство режима ожидания используется, когда проверяется опорное устройство опроса.

Опорное устройство опроса допускает командам передаваться устройствам режима ожидания. Есть три вида устройств опроса, каждый со своей собственной схемой катушки антенны, основанные на различных стандартах. Poller-0 основан на стандарте EMVCo PCD, тогда как Poller-3 и Poller-6 основаны на компенсированных версиях ISO стандартизированной PICC конструкции антенной катушки. Опорные устройства представлены на рисунках 5.3-5.5.



Рисунок 5.3 – Опорный Poller-0

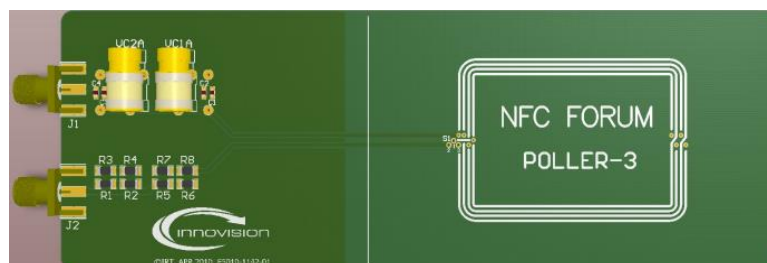


Рисунок 5.4 – Опорный Poller-3

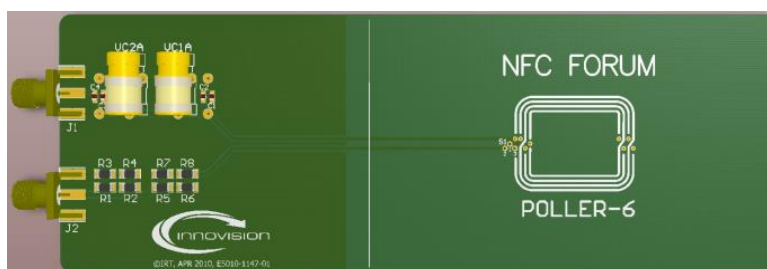


Рисунок 5.5 – Опорный Poller-6

NFC Форум - опорные устройства режима ожидания. Опорные устройства режима ожидания дает сигналы, полученные с помощью опроса устройства для анализа. NFC Форум – ссылка справочного устройства, NFC Форум - Ссылка подслушивающих устройств имеют свои собственные конструкции антенны катушки. Слушатель-1, слушатель-3 и слушатель-6 основаны на внешних измерений огибающей ISO ссылки PICC-1, PICC-3 и PICC-6, тут соответственно обозначается антенна. Они могут передать информацию обратно через нагрузки модуляции и быть сконфигурированы с рядом фиксированных резистивных нагрузок. Справочника подслушивающих устройств NFC Форум можно увидеть на рисунках 5.6 - 5.8.

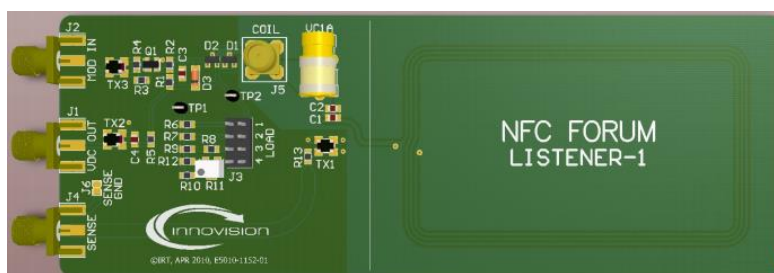


Рисунок 5.6 – Опорные устройства режима ожидания - 1



Рисунок 5.7 – Опорные устройства режима ожидания - 3

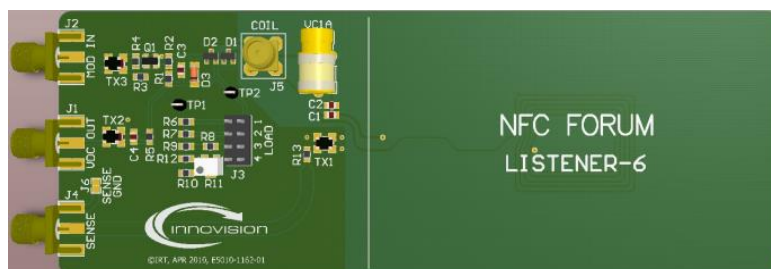


Рисунок 5.8 – Опорные устройства режима ожидания - 6

Описания испытаний. Каждое испытание, которое должно пройти для того, чтобы соответствовать РЧ аналоговой технической спецификации NFC, описывается с небольшого введения, цели, контекста и требований. Важно отметить, что этот документ не содержит действительных инструкций

испытаний, но довольно общие требования к испытаниям. Следующие испытания разъясняют требования сигнального интерфейса между опорным устройством опроса и устройством режима ожидания, и устройством режима ожидания и устройством опроса, соответственно.

PC аналоговая спецификация испытаний NFC. Этот документ подробно объясняет испытание для технической спецификации PC аналоговой спецификации испытаний NFC. Его цель заключается в предоставлении подробных инструкций о том, как должно быть выполнено каждое испытание из аналоговой спецификации. Спецификация уточняет требования охраны окружающей среды, рабочий объем и определение положения испытания. На рисунке 5.9 показан рабочий объем с определенными контрольными синими точками.

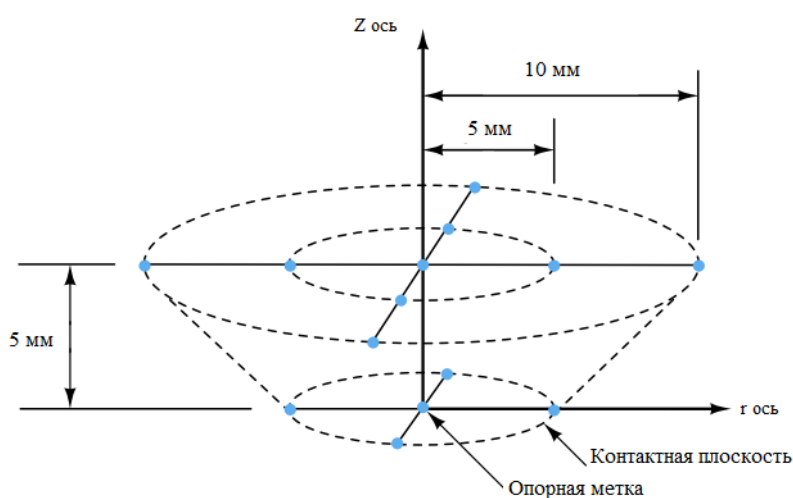


Рисунок 5.9 – Рабочий объем

Стенд испытания. Стенд испытания необходим для измерений, которые состоят из NFC опорных устройств и внешнего измерительного оборудования. Роль, требования и конфигурация объясняются вместе с неопределенностью диапазона каждой части стенда. Полный комплект стенда показан на рисунке 5.10.



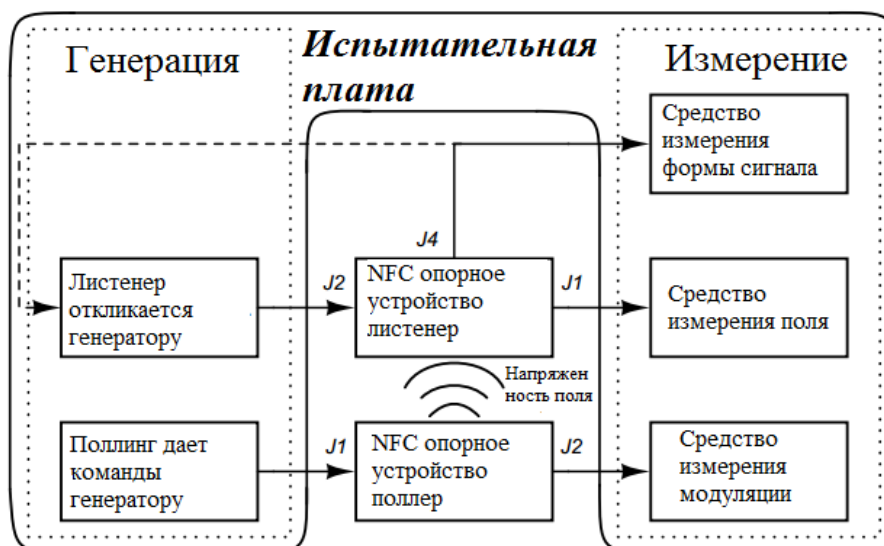


Рисунок 5.10 – Испытательная плата NFC Форума

Требования калибровки для испытательного стенда и оценки результатов в настоящее время отсутствует в спецификации.

Каждое испытание содержит следующую информацию:

Таблица 5.2 - Структура испытания

Раздел	Объяснение
TC Id	Название контрольного примера
RQ ссылка	Общая ссылка требований в РЧ аналоговой спецификации
Ссылка раздела	Конкретная ссылка раздела в РЧ аналоговой спецификации
Цель испытания	Описание контрольного примера
Комментарии	Если необходимо, заданная информация в контрольном примере
Условия	Все опорные антенны, которые будут использоваться, значения настроек и размещения испытаний.
Функции конфигурации испытания	Конкретные конфигурации платы испытаний, использованные для достижения контрольного примера
Критерии соответствия	Описывает критерии соответствия
Шаг	Подробные процедуры контрольного примера

NFC техническая спецификация цифрового протокола. Область действия данного документа распространяется на цифровой интерфейс и протокол полудуплексной передачи устройства NFC Форума в своих четырех ролях (инициатор, таргет, чтения /записи и эмулятора карты). Объясняются следующие свойства и требования для NFC-A, NFC-B и NFC-F:

- формат последовательности;
- уровень кодирования бита;
- формат кадра;
- формат данных и полезной нагрузки;
- наборы команд;
- времени задержки и хранения.

## 5.5 EMVCo

EMVCo является корпорацией, принадлежащей к Visa, American Express, MasterCard и JCB, была образована в феврале 1999 года. EMVCo несет ответственность за управление, поддержание и укрепление EMV спецификации интегрированной схемы карты для платежных систем, а также обеспечение взаимодействия и принятия интегральных схем карт платежной системы во всем мире. Стандарты EMVCo, таким образом следуют, когда NFC устройство с режимом эмуляцией карты должно быть разработано и испытано. Основное преимущество — установить рамки для беспроводных платежей и убедиться, что они надежные.

EMVCo имеет несколько спецификаций, но только одна предназначен для бесконтактных платежей. Бесконтактная EMV спецификация содержит в себе несколько спецификаций. Работа лишней раз не будет использовать их всех, так как некоторые из спецификаций предназначены для платежных терминалов. Соответствующими документами являются EMV Спецификация бесконтактного протокола связи v2.0.1 и уровень 1 спецификации испытательного оборудования. Последняя содержит PICC руководство, PCD руководство, SMR руководство и Gerber файлы с необходимыми проектными материалами для требуемого EMV опорного оборудования. Владеть спецификации оборудования подписки EMVCo на абонентском уровне не требуется. Чтобы владеть спецификацией оборудования, подписки EMVCo, требуется уровень, по крайней мере абонента.

Бесконтактный протокол связи EMV v2.0.1. Этот документ описывает базовую теорию, опорное оборудование, определение рабочего объема, требования и последовательности PCD/PICC. Спецификация главным образом основана на стандартах ISO RFID 14443-1,-2,-3 и 4.

Бесконтактный EMV. Уровень 1. Испытательные оборудования.

Тестовые оборудования состоят из трех частей:

- EMV - TEST PCD;

- EMV - TEST PICC;
- EMV - TEST CMR.

Так же, как тестовая сборка ЕСМА, EMV – TEST PCD подается от генератора сигнала и затем используется для испытания DUT в режиме таргета.

EMV - Испытание PICC используется для испытания сигналов, посланных тестируемыми устройствами в режиме инициатора, а также можно обратно отправить информацию через модуляцию нагрузки. Ответы от DUT могут быть проанализированы с помощью EMV – TEST CMR.

Дополнительную информацию об опорном оборудовании можно найти в руководстве EMV бесконтактной спецификации для платежных систем - Уровень 1 - Спецификации испытательного оборудования, - руководства PCD, PICC и CMR, соответственно.

Остальная часть документа охватывает технические описания, требования и процедуры испытаний для каждого конкретного случая. Это следует по той же схеме, что и документы ЕСМА и NFC Форума, предоставляя требования PCD/PICC, как должно быть сделано кодирование, как должны выглядеть кадры и команды, и т.д.

Режим эмуляции карты не поддерживается в Android 2.3 Gingerbread, эти испытания невозможно сделать на телефонах с Android, пока не реализована поддержка программного обеспечения.

## **6 Настройка измерения**

Основная цель данной работы состояла в том, чтобы собрать систему измерения для испытания NFC-устройства. В начале диссертации, были выбраны два различных поставщиков для испытания. Первым вариантом был Micropross, французский ведущий мировой поставщик инструментов тестирования смарт-карт. Другим был AIT, австрийская прикладная R&D компания. AIT только доставлял сборку испытания без какого-либо программного или аппаратного обеспечения и, таким образом, требовалось дополнительное оборудование для выполнения измерений. Было выбрано оборудование Rohde & Schwarz для тестовой сборки AIT.

В этой главе описываются инструменты и методы, которые использовались для выполнения необходимых испытаний.

### **6.1 Rohde & Schwarz / AIT**

Измерительную установку R&S/AIT можно увидеть на рисунке 6.1. Она состоит из генератора сигналов, из контрольного устройства, осциллографа, анализатора спектра и усилителя.



Рисунок 6.1 – Испытательные установки R&S/AIT

Генератор сигнала. Для запуска антенны, генерирующее поле, в контрольном устройстве был использован генератор сигнала. Генератором сигнала является Rohde & Schwartz SMU 200A с дополнительной программной опцией под названием K6. Эта опция необходима для связи между SMU 200A и R&S K6 программного обеспечения электронного прибора для хранения последовательности импульсов и передачи их в случае необходимости.

Контрольное устройство. Устройство доставлено с 50  $\Omega$  SMB разъемом, установленного на PCB с антенной, генерирующей поле. Разъем SMB был заменен с разъемом SMA. Контрольное устройство было построено в соответствии со стандартом ECMA- 356.

РЧ усилитель. При проведении первоначальных испытаний выяснилось, что выходной мощности в 20 дБм, доставленной SMU 200A, на антенну, генерирующее поле, не было достаточно, чтобы генерировать необходимую напряженность поля. Максимальная генерируемая напряженность поля составляла примерно 1 А/м. Это было далеко от максимальной необходимой величины 7.5 А/м. После тщательного исследования было решено, что 25 В усилителя будет достаточно для использования в данной конструкции. Усилитель BSA 0125-25 из Bonn Elektronik был выбран из-за короткого времени доставки. В ожидании усилителя временно был взят другой усилитель из Perlos AB. Выходная мощность у этого усилителя была только 3 Вт, но этого хватило, чтобы выполнить некоторые из измерений.

Анализатор спектра. Анализатор спектра был использован для изучения времени нарастания и спада с использованием нулевого периода времени. Хотя это может показаться немного неортодоксальным, осциллограф, обеспечиваемый Sony Ericsson, во время работы не был подходящим для измерения расчета времени. Анализатор спектра дал нам большую точность, так как позволял разместить маркеры на желаемом уровне амплитуды на нарастающих и падающих краях импульса.

Цифровой осциллограф. Осциллограф использовался для проверки последовательностей переданных команд, и чтобы сделать все требуемые измерения. Осциллографом был Tektronix DPO 4054.

Программное обеспечение. Компьютерным программным обеспечением был R&S K6 Pulse Sequencer. Причина для использования этого программного обеспечения то, что оно позволило сложным импульсам и моделям импульса формироваться и отправляться в SMU 200A через любой интерфейс VISA. В программном обеспечении также поддерживаются пользовательские плагины для дополнительных испытаний.

## 6.2 Micropross

Испытательную установку Micropross можно увидеть на рисунке 6.2. Она состоит из генератора сигнала, контрольного устройства, осциллографа и усилителя.

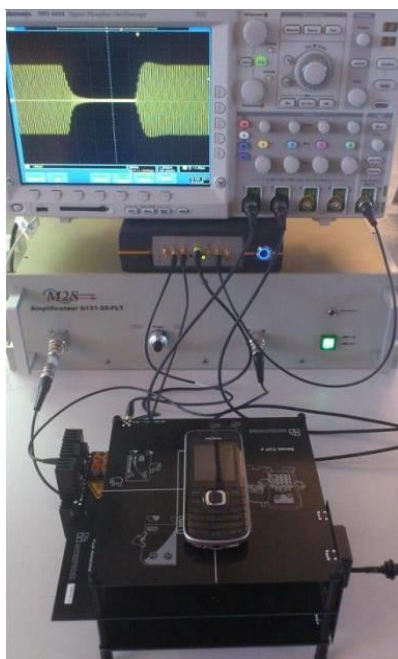


Рисунок 6.2 – Испытательная установка Micropross

Генератор сигналов. Решение Microgross использует собственный генератор сигнала, называемой TCL2. Он не имеет дисплея и полностью контролируется программным обеспечением диспетчера MP.

Контрольное устройство. Контрольное устройство большей частью построено в соответствии с ECMA- 356 и имеет несколько дополнений:

- встроенная калибровочная катушка под нижней частью катушки;
- разъем 3,5 мм TRS на антенне PCD, генерирующей поле. Этот разъем позволяет TCL2 сделать выбор между двумя генерирующими антеннами, используемых для низких и высоких скоростей передачи данных;
- разъем на верхней части катушки позволяет сигналу от DUT отправляться обратно в TCL2.

РЧ усилитель. Усилитель M2S A121-25-FLT имеет переменную РЧ регулировку усиления на передней панели. Это необходимо, так как выходная мощность не может быть отрегулирована вручную из -за TCL2.

Цифровой осциллограф. Осциллограф Tektronix DPO 4034 является одним из немногих моделей осциллографов, которые сегодня совместимы с решением Microgross. Осциллограф полностью контролируется программным обеспечением MP Manager для испытаний таргетов, в то время как некоторые настройки вручную должны быть сделаны для испытания инициатора.

Программное обеспечение. Компьютерная программное обеспечение называется MP Manager. MP Manager используется для управления TCL2 и является полностью интегрированной средой разработки. Программа может быть использована для:

- редактирования и запуска скрипт файла вместе с полными наборами испытаний;
- слежки на связи между считывателем и таргетом, затем визуализирует события журнала;
- выполнения электрических функций испытания для калибровки;
- построения графиков, которые контролируют, как конкретное испытание проходит или проваливается, когда изменяются параметры, такие как частота или напряжение, то тогда испытание выполняется повторно.

Программное обеспечение для запуска требует лицензию вместе с ключом USB. Если программное обеспечение будет работать на другом компьютере, лицензия сперва должна быть удалена, а затем введена на новый компьютер вместе с ключом USB. Microgross может подтвердить, что оно сместит эту лицензионную модель на плавающую лицензию.

## **7 Процедура измерения**

## 7.1 Rohde & Schwarz / AIT

Калибровка и конфигурация. Поскольку все испытания, где DUT предполагался в режиме таргета, должны быть проведены с линейной возрастающей напряженностью поля до 7,5 А/м, требуемый уровень мощности следует отметить заранее. Процесс измерения напряженности поля до  $H_{\max}$  должен быть сделан через калибровочную катушку без DUT на контрольном устройстве.

Перед проведением любого измерения, контрольное устройство должно быть откалибровано. Первая часть калибровки - удостовериться, что согласование полных сопротивлений схем на антенне PCD, генерирующее поле, приспособлено к SMU 200A выходному сопротивлению 50  $\Omega$ .

Использованные последовательности команд передаются на DUT с К6 программным обеспечением устройства генерации последовательности. Начнем с того, что программа NFC загружается через файловое меню. Программа содержит все необходимые плагины (штепсельные соединения) и последовательности для выполнения испытаний радиочастотного интерфейса. Команда для отправки выбрана в библиотеке последовательностей и построена в форме сигнала. Когда создается форма сигнала, окончательные параметры, такие как частота и выходная мощность для SMU 200A, устанавливаются на ярлыке передачи.

Запуск осциллографа может быть довольно сложным, но длительности импульса для различных скоростей передачи делают процедуру проще. Запуск импульса выбирается с помощью соответствующей ширины импульса для различных скоростей передачи данных. Соответствующий пороговый уровень регулируется в зависимости от выбранной полярности.

Считыватель напряженности поля. Напряженность поля, сгенерированное из контрольного устройства, определяется путем измерения напряжения высокого сопротивления с помощью осциллографа, подключенного к калибровочной катушке испытываемого устройства. Затем напряженность поля вычисляется из измеренного напряжения на калибровочной катушке, в котором каждые 0.32  $V_{\text{RMS}}$  из измеренного напряжения соответствуют напряженности поля в 1 А/м, как показано в уравнении 7.1.

$$H_{\text{PCD}} = \frac{V_{\text{катушкакалибровки}}}{0.32V} \text{ А/м} \quad (7.1)$$

Обнаружение уровня РЧ таргета. DUT обнаруживает внешнее электромагнитное поле с напряженностью поля в диапазоне  $H_{\text{Threshold}}$  до  $H_{\max}$ , как описано в 6.1.2.

DUT размещен концентрически с контрольной катушкой в режиме инициатора.

Генератор сигнала. SMU 200A установлен для генерации немодулированного РЧ-поля на частоте 13,56 МГц. Напряженность поля линейно возрастает от 0 до  $H_{max}$  и уровня выходной мощности, где телефон выключает его РЧ поле. Это значение затем используется для измерения напряженности поля, соответствующей калибровочной катушке.

Осциллограф. Когда DUT настроен на режим инициатора, он размещается на контрольной установке, напряжение, вызванное в ближайшей контрольной катушке, будет изменено из-за РЧ поля, генерируемого DUT. Таким образом, сигнал на выходе компенсационной платы будет вне баланса и не ослабнет двумя противофазными контрольными катушками. Это делает его легким для обнаружения РЧ поля DUT включен или выключен.

Режим пассивной связи таргета. Цель этих испытаний - определить амплитуду сигнала модуляции нагрузки таргета при изменении напряженности поля в диапазоне от  $H_{min}$  и  $H_{max}$ . DUT помещается в испытательную конструкцию, концентрически с контрольной катушкой.

К6 генератор последовательностей импульса. Последовательность команд SENS\_REQ передается на DUT на скорости 106 кбит/с, чтобы получить SENS\_RES. Для более высокой скорости последовательности команд делает заявку на запрос, она направляется в DUT чтобы получить ответ опроса.

Генератор сигнала. Выходная мощность варьируется от  $H_{min}$  и  $H_{max}$ .

Осциллограф. Осциллограф установлен для запуска импульсов с шириной импульса больше чем 2 микросекунды для низкой скорости передачи. Ширина импульса уменьшается, когда скорость передачи увеличивается. Ровно два несущих цикла отобранного модуляции сигнала преобразованы в Фурье. Боковые полосы расположены в  $f_c \pm f_s$ , 12.7125 и 14.4075 МГц соответственно для 106 кбит.

Режим активной связи таргета. Цель этого испытания заключается в определении коэффициента модуляции и расчета времени РЧ поля таргета при изменении напряжения поля в диапазоне  $H_{min}$  и  $H_{max}$ , как определено в 6.1.2. DUT помещают на испытательную конструкцию, концентрически с контрольной катушкой.

К6 генератор последовательностей импульсов. Последовательность команд ATR\_REQ передается в DUT на всех битовых скоростях, чтобы получить ATR\_RES.

Генератор сигнала. Выходная мощность варьируется от  $H_{min}$  и  $H_{max}$ .

Осциллограф. Осциллограф используется для чтения синхронизации генерации радиочастотного поля и измерить различные амплитуды модулированного сигнала, чтобы определить коэффициент модуляции. Осциллограф также может быть использован для определения ATR\_RES.



Напряженность поля таргета. Это испытание измеряет напряженность поля, создаваемого инициатором в рабочем объеме. Используются опорные устройства, чтобы определить две вещи. Сперва, то что DUT способен поставлять напряженность поля по крайней мере  $H_{\min}$ , для питания таргета, размещенного в любом месте в пределах определенного рабочего объема, и во-вторых, что он не генерирует поле выше, чем значение  $H_{\max}$ . После того, как были откалиброваны опорные приборы, контрольные устройства не должны передавать любое РЧ-поле. Сгенерированное РЧ-поле в противном случае может нарушить измерения  $H_{\min}$  и  $H_{\max}$ .

Генератор сигналов. При калибровке опорных приборов для  $H_{\min}$  и  $H_{\max}$ , SMU 200A настраивается, чтобы произвести 1,5 А/м и 7,5 А/м соответственно при измерении с калибровочной катушкой.

Настройка резонансной частоты. Перемычка J1 установлена в положении "а" на опорном устройстве. Калибровочная катушка приводится в движение непосредственно от SMU 200A, настроенного на требуемую частоту, 13,56 МГц для  $H_{\min}$  или 19,0 МГц для  $H_{\max}$ . Калибровочная катушка и опорные устройства расположены как можно ближе к осям двух катушек, являющимися сравнимыми. Конденсатор C2 опорного устройства устанавливается до максимального напряжения DC на R1, измеренной с высоким импедансом вольтметра.

Регулировка R2. Перемычка J1 установлена в положение "b" на опорном устройстве. Контрольный прибор калибруется, чтобы получить требуемую напряженность магнитного поля ( $H_{\min}$  или  $H_{\max}$ ) на 13,56 МГц на калибровке катушки с опорного устройства в положении DUT. R2 теперь регулируется для получения 3V DC по нему, измеренного с вольтметром. Состояние рабочего объема проверяется мониторингом напряжения на калибровочной катушке.

Осциллограф. Осциллограф используется для измерения напряжения через R2, пока опорное устройство располагается в пределах определенного рабочего объема DUT. Для  $H_{\min}$  напряжение должно превышать 3V DC и для  $H_{\max}$  напряжение должно быть ниже 3V DC.

Коэффициент модуляции и форма сигнала инициатора. Это испытание используется для определения коэффициента модуляции поля инициатора, а также времени нарастания и спада и значения превышения, в определенном объеме работы. Испытание проводится путем размещения калибровочной катушки в пределах рабочего объема инициатора.

Осциллограф. Осциллограф используется для измерения превышения модулированного сигнала и определения коэффициента модуляции с использованием способа.

Анализатор спектра. Времени взлета и падения мгновенно определяются с помощью анализатора спектра с нулевой настройкой

диапазона. Маркеры D1, D2 и M1 размещены для определения параметров времени, как описано ниже:

MKR: Маркер: Маркер Дельта. Установите маркер D1 на  $H_{initial}$  (значение 100% амплитуды);

MKR: Маркер 1. Установите M1 на 90% амплитуды падающего фронта. Это дает D1 значение 0,91 дБ.

MKR: Маркер 2: Маркер Дельта. Установите маркер D2 на 5% амплитуды нарастающего фронта. Это дает значение D2 -25,11 дБ.

Параметр T1 теперь может быть приобретен путем простой проверки значения времени для D2. Измерения параметров  $t_2$ ,  $t_3$  и  $t_4$  осуществляется таким же образом.

Чтобы получить значение D1 в 26.02 дБ для параметра  $t_2$ , установите M1 на 5% амплитуды падающего фронта. Теперь маркер D2 должен иметь значение 0 дБ. Параметр  $t_2$  теперь считается как временное значение D2.

Чтобы получить значение D1 в 0.91 дБ для параметра  $t_3$ , установите M1 на 90% амплитуды нарастающего фронта. Теперь маркер D2 должен иметь значение -25.11 дБ. Параметр  $t_3$  теперь считается как временное значение D2.

Чтобы получить значение D1 в 4.43 дБ для параметра  $t_4$ , установите M1 на 60% амплитуды нарастающего фронта. Теперь маркер D2 должен иметь значение -21.59 дБ. Параметр  $t_4$  теперь считается как временное значение D2.

## 7.2 Micropross

Процедуры калибровки и измерения для установки Micropross хорошо документированы, и эта работа будет руководствоваться по ним следуя за различными процедурами.

- универсальный стенд испытания 2010 - Руководство пользователя - RevE

Этот документ описывает все соединения в настройках, калибровку контрольного прибора и описание всех отдельных частей, используемые в контрольном приборе.

- MP Manager - Руководство пользователя для бесконтактных - Rev C. Этот документ описывает все функции менеджера MP и как их использовать.

- испытательный набор руководств пользователя - ISO 22536 - PC - RevB. Этот документ дает краткий обзор о том, как использовать диспетчер MP для испытаний ISO 22536.

Менеджер MP содержит четкие инструкции и часто фотографии, когда выполняются испытания.

## 8 Результаты испытаний

Все испытания проводятся в соответствии с процедурами, указанные в стандартах ISO/ECMA NFC.

На рисунке 5.9 был показан рабочий объем с определенными положениями испытаний NFC Форумом. В стандартах ISO/ECMA нет таких испытаний и позиции не определены. В нашем случае мы разместили калибровочную катушку на расстоянии 0 и 10 мм от тестируемого устройства. Калибровочная катушка была перемещена вокруг этих фиксированных расстояний до получения максимального напряжения. Следует отметить, что расстояние 10 мм не определено в стандарте и используется просто для сравнения.

## 8.1 Rohde&Schwarz / AIT

DUT А. Обнаружение РЧ уровня таргета. DUT имеет свое РЧ поле и непрерывно опрашивает, до тех пор, пока никакое внешнее поле не присутствует и выключается, как только обнаруживается поле. Это делает его легко находимым, из-за порогового значения DUT, см. рисунок 8.1. DUT определяет внешнее РЧ поле из контрольного прибора на выходной мощности -57,2 дБм из генератора сигнала. Напряжение, измеренное на калибровочной катушке,  $22,6 \text{ mV}_{\text{RMS}}$ , которое соответствует значению в мВ, что значит напряженности поля в  $0,0706 \text{ А/м}$ . DUT проходит испытание с хорошим запасом, так как пороговое значение для определения уровня РЧ -  $0,1875 \text{ А/м}$ .

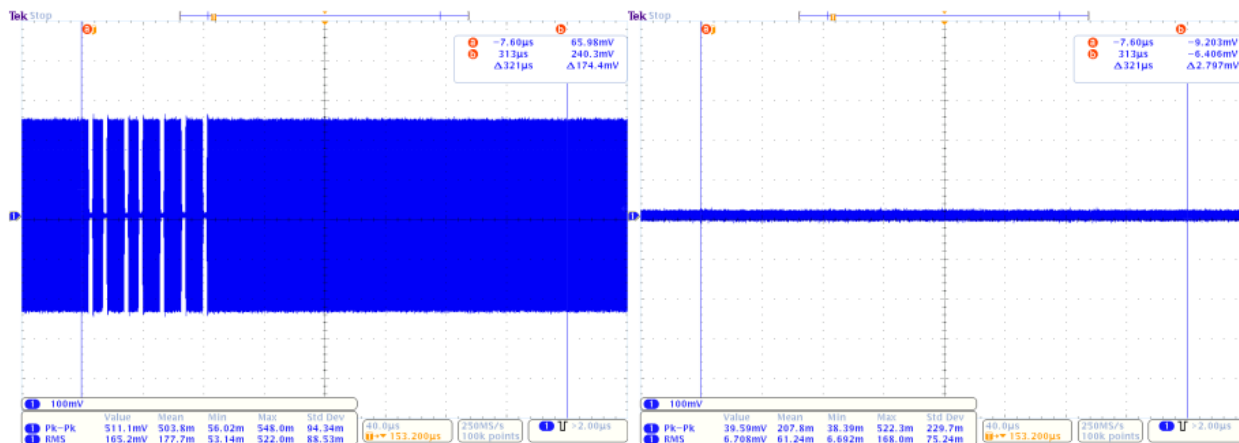


Рисунок 8.1 – Слева РЧ поле включено, справа РЧ поле выключено, так как обнаружено внешнее РЧ поле

Пассивный режим связи таргета. DUT не поддерживает пассивный режим связи на более высоких скоростях, и поэтому испытания были пропущены.

Для скорости передачи битов 106 кбит/с, команда SENS\_REQ посылается от генератора сигнала, чтобы получить SENS\_RES от

тестируемого устройства. На рисунке 8.2 мы видим SENS\_REQ, посланной от генератора сигнала и нагрузочно модулированный SENS\_RES из DUT.

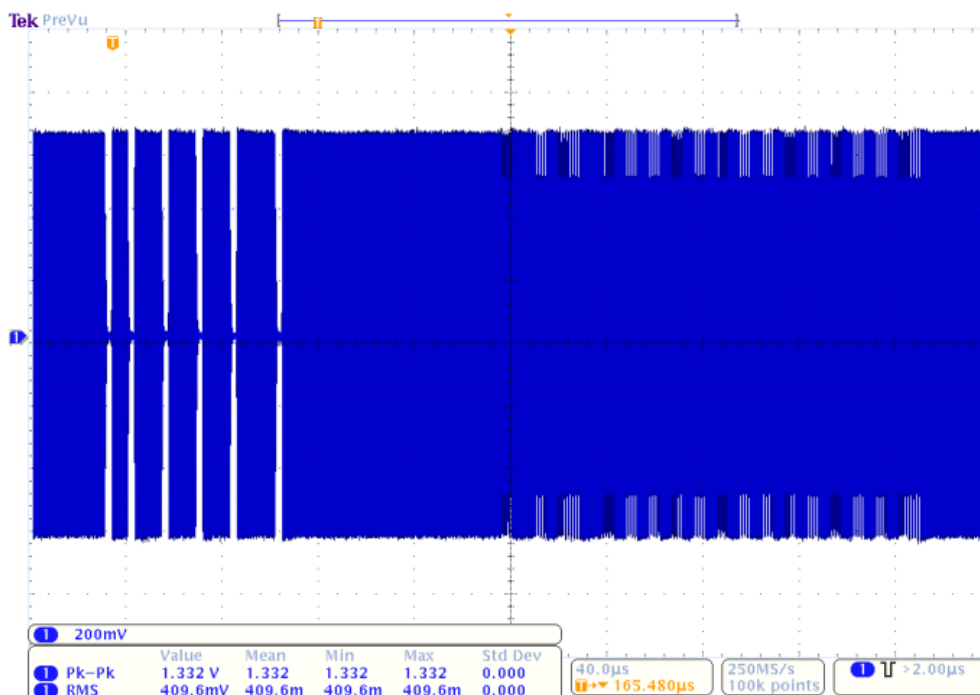


Рисунок 8.2 – Команды SENS\_REQ видно слева, а команды SENS\_RES справа

Амплитуды боковых полос измерены. Амплитуда модуляции нагрузки должна быть не менее  $A_{min}=30/H^{1.2}mV_p$ . Частотные спецификации для  $H_{min}$  и  $H_{max}$  видны в (приложении А).

Измеренные уровни амплитуд для боковых полос преобразуются из dBV в соответствующие значения напряжения в  $mV_p$ . Результаты можно увидеть в таблице 8.1.

Таблица 8.1 - Минимальные требования к боковым полосам и измеренным уровням амплитуд

H	Боковая полоса	Требование, $mV_p$	Измеренное значение, $mV_p$
$H_{min}$	Нижняя	18.44	21.41
	Верхняя	18.44	29.55
$H_{max}$	Нижняя	2.67	49.03
	Верхняя	2.67	79.22

DUT выполняет требования для минимальных значениях амплитуд для боковых полос в  $H_{min}$ . Испытание пройдено.

Напряженность поля инициатора.

Таблица 8.2 - Значения напряженности поля для DUT A

Параметр	Расстояние, мм	Напряжение, В
$H_{\min}$	0	1.41
	10	0.71
$H_{\max}$	Любое	0.31

Испытание не пройдено, потому что  $H_{\min}$  не достиг 3 В в любом положении

Коэффициент модуляции и форма сигнала инициатора

Для 212 кбит/с DUT не обеспечивает достаточного сигнала для запуска. Поскольку ни один правильный запуск не может быть сделан, испытания для этой скорости передачи были пропущены. DUT не поддерживает связь на 424 кбит/с.

Для 106 кбит/с, время нарастания и спада мгновенно определяется путем размещения маркеров D1, M1 и D2, как описано в разделе 8.1.5. Огибающая несущей амплитуды и определение временных интервалов описаны в разделе 5.1.3. Временные результаты приведены на рисунках с 8.3 по 8.6.

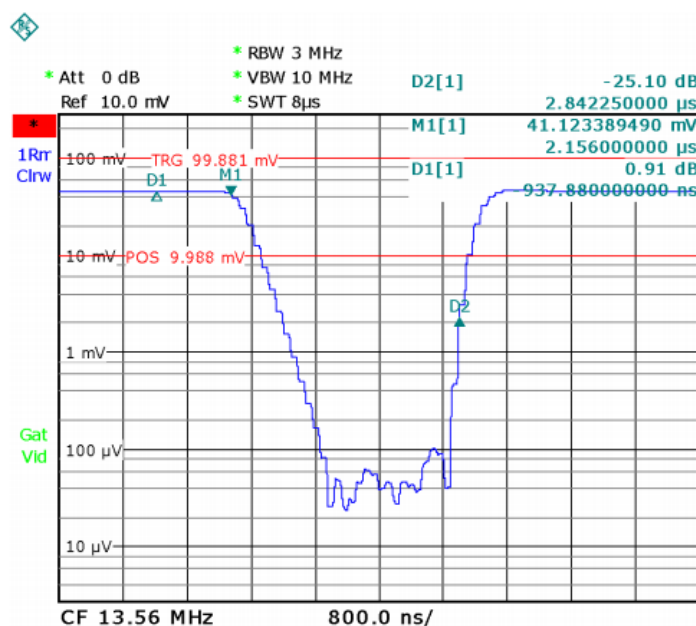


Рисунок 8.3 – Параметр  $t_1$  приобретает путем чтения значения времени D2

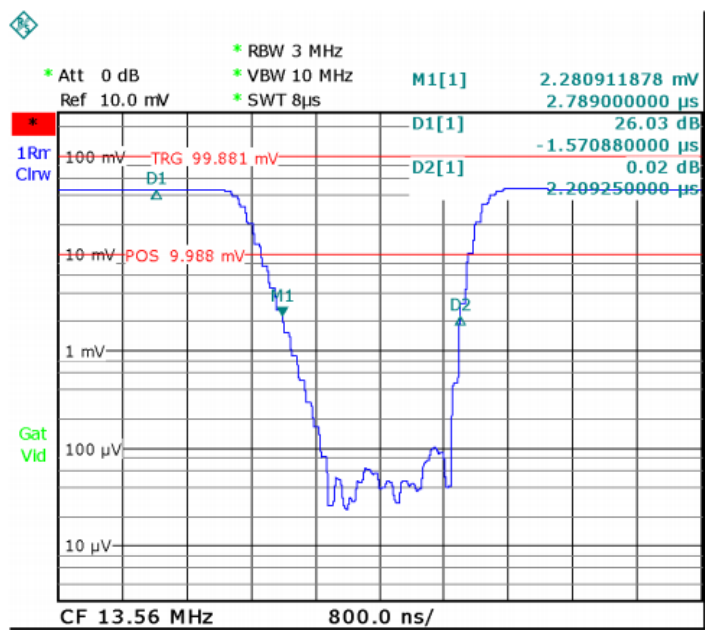


Рисунок 8.4 – Параметр t2 приобретается путем чтения значение времени D2

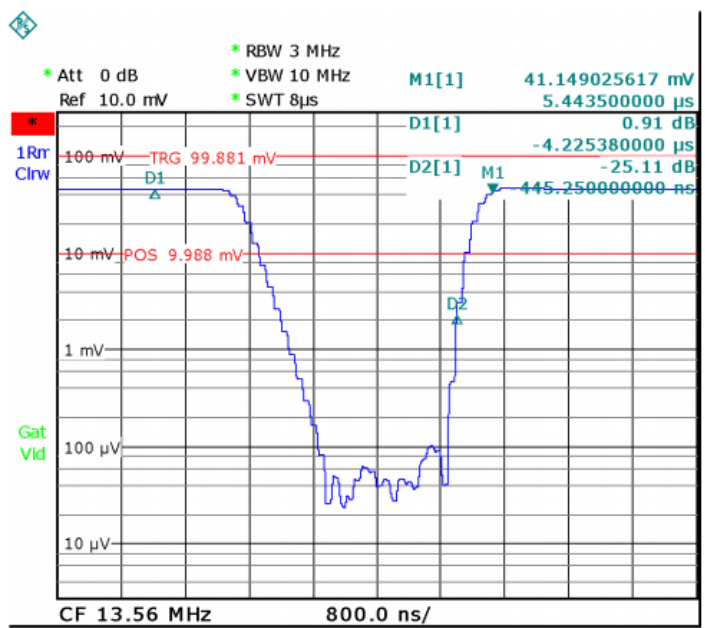


Рисунок 8.5 – Параметр t3 приобретается путем чтения значение времени D2



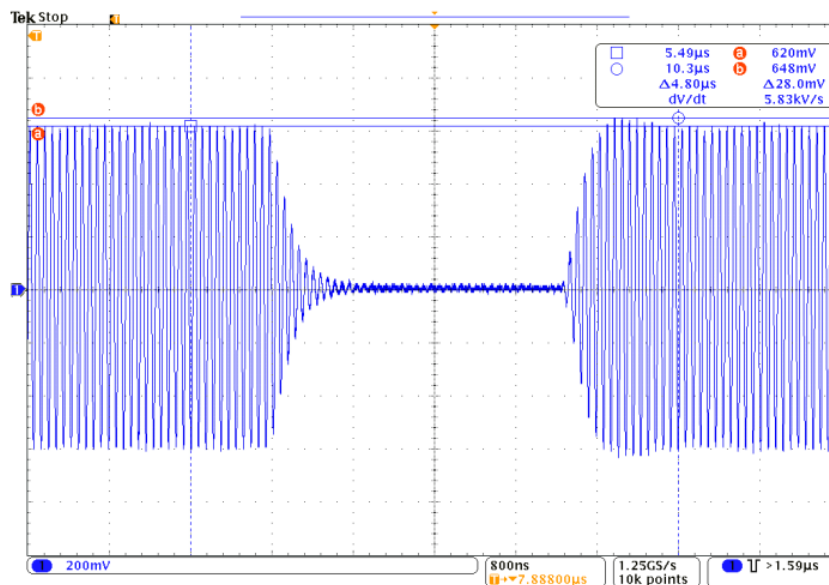


Рисунок 8.7 – Форма импульса с указателями, установленными для выявления положительных завышений

Коэффициент модуляции рассчитывается как  $(a-b)/(a + b)$ , где  $a$  и  $b$  являются пиковой и минимальной амплитудой сигнала, соответственно со значением коэффициента, выраженного в процентах. В этом случае, коэффициент модуляции является:

$$(872 - 16) \text{ мВ} / (872 + 16) \text{ мВ} \approx 96,4\%$$

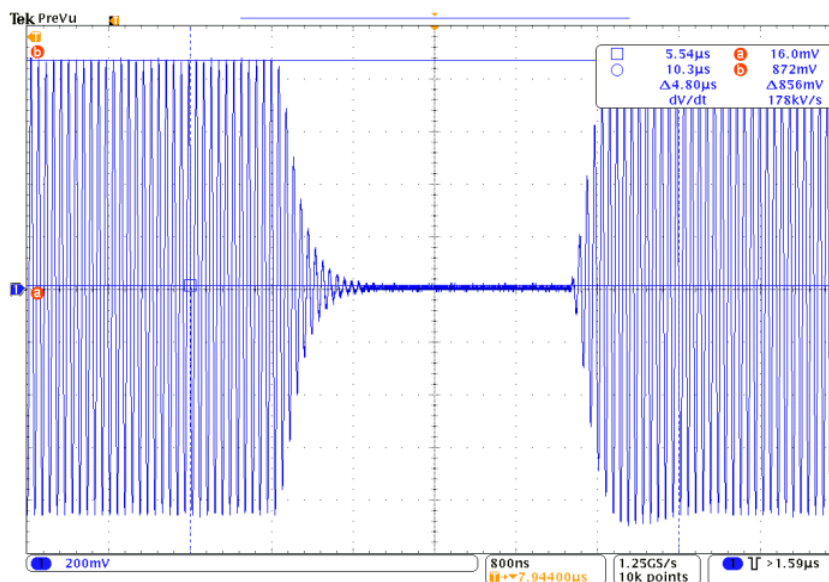


Рисунок 8.8 – Форма импульса с указателями, установленных для определения коэффициента модуляции



Коэффициент модуляции, расчет времени и перерегулирования находятся в заданных пределах. Испытание пройдено.

Таблица 8.4 - Сводка результатов испытаний для DUT A

Исытание	Результат
Обнаружение РЧ уровня таргета	Выполнено
Режим пассивной связи таргета	Выполнено
Напряженность поля инициатора	Неуспешное выполнение
Коэффициент модуляции и форма сигнала инициатора	Выполнено

DUT B. Обнаружение РЧ уровня таргета. DUT определяет внешнее РЧ поле от контрольного прибора на выходной мощности -45,4 дБм из генератора сигнала. Напряжение, измеренное на калибровочной катушке, 76 mV<sub>RMS</sub>, что соответствует значению напряженности поля 0,2375 А/м. DUT не прошел это испытание, так как пороговое значение для определения уровня ВЧ равно 0,1875 А/м.

Режим пассивной связи таргета. DUT в настоящее время работает с Android 2.3 Gingerbread, которая не поддерживается в режиме эмуляции карты.

Напряженность поля инициатора.

Таблица 8.5 - Значения напряженности поля для DUT B

Параметр	Расстояние, мм	Напряжение, В
H <sub>min</sub>	0	4.26
	10	2.76
H <sub>max</sub>	Любое	1.28

Испытание пройдено.

Коэффициент модуляции и формы сигнала инициатора

Временные результаты приведены на рисунках с 8.9 по 8.12.

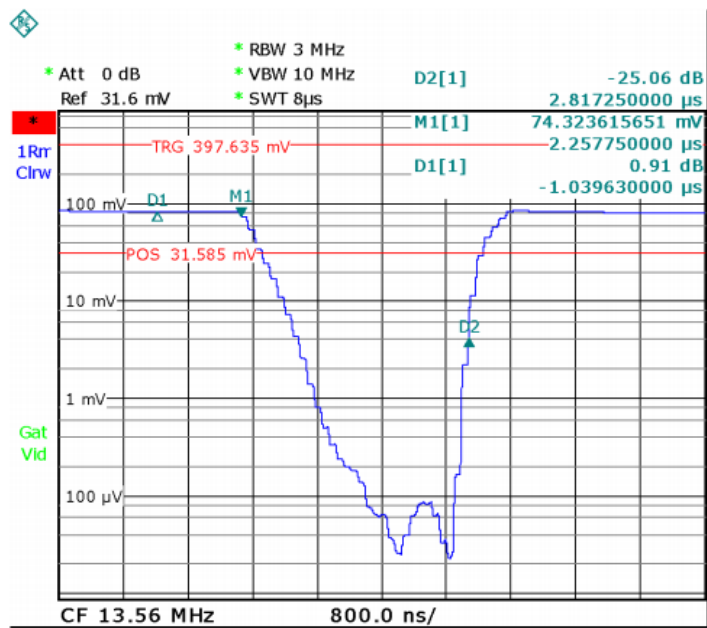


Рисунок 8.9 – Параметр t1 приобретается путем чтения значения времени D2

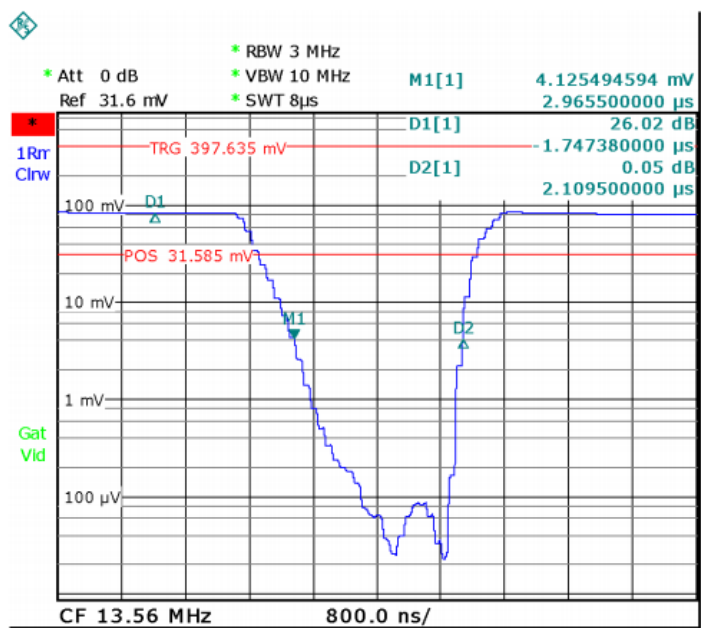


Рисунок 8.10 – Параметр t2 приобретается путем чтения значения времени D2

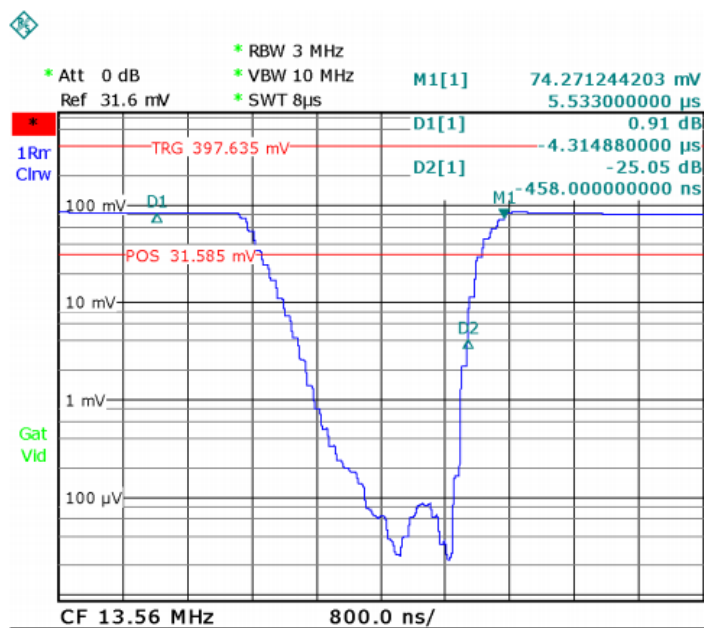


Рисунок 8.11 – Параметр t3 приобретается путем чтения значения времени D2

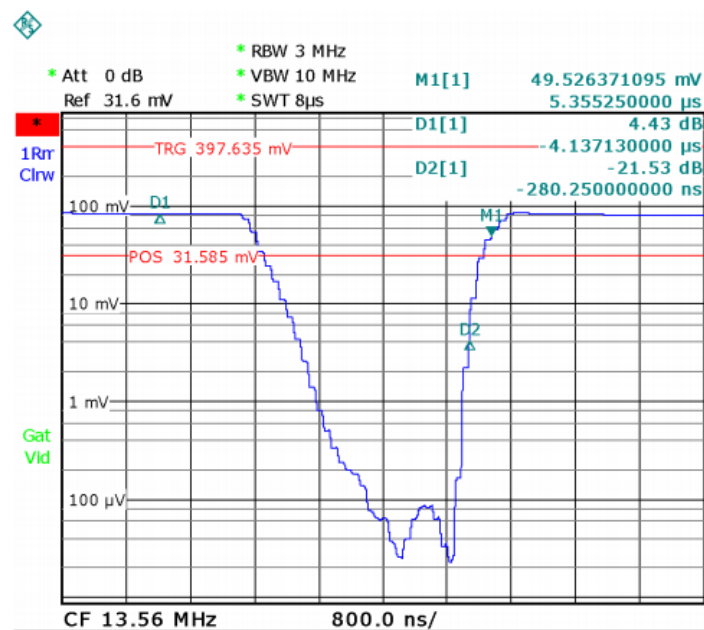


Рисунок 8.12 – Параметр t4 приобретается путем чтения значения времени

Таблица 8.6 - Значения параметров для DUT B

Параметр времени	t1	t2	t3	t4
Время	2.82 мс	2.11 мс	458 нс	280 нс

Перерегулирование достигает 104,1%.

Коэффициент модуляции 98,2 %.

Коэффициент модуляции, расчет времени и перерегулирования находятся в заданных пределах. Испытание пройдено.

Таблица 8.7 - Сводка результатов испытаний для DUT В

Испытание	Результат
Обнаружение РЧ уровня таргета	Неуспешное выполнение
Режим пассивной связи таргета	Н/О
Напряженность поля инициатора	Выполнено
Коэффициент модуляции и форма сигнала инициатора	Выполнено

DUT С. Обнаружение РЧ уровня таргета. Напряжение, измеренное на калибровочной катушке,  $230 \text{ mV}_{\text{RM}}$ , что соответствует значению напряженности поля  $0.719 \text{ А/м}$ . DUT неуспешно прошел это испытание из-за порогового значения обнаружения РЧ уровня в  $0.1875 \text{ А/м}$ .

Режим пассивной связи таргета. DUT на данный момент запускает Android 2.3 Gingerbread, которая не поддерживает режим эмуляции карты.

Таблица 8.8 - Значения напряженности поля для DUT С

Параметр	Расстояние, мм	Напряжение, В
$H_{\text{min}}$	0	2.45
	10	1.06
$H_{\text{max}}$	Любое	0.56

Испытание не пройдено из-за  $H_{\text{min}}$  не достигает 3 В в любом положении.

Коэффициент модуляции и форма сигнала инициатора. Из-за плохого согласования включение на более высоких скоростях невозможно, поэтому испытания для этих скоростей были пропущены.

Результаты для 106 кбит/с показаны на рисунках 8.13-8.16.



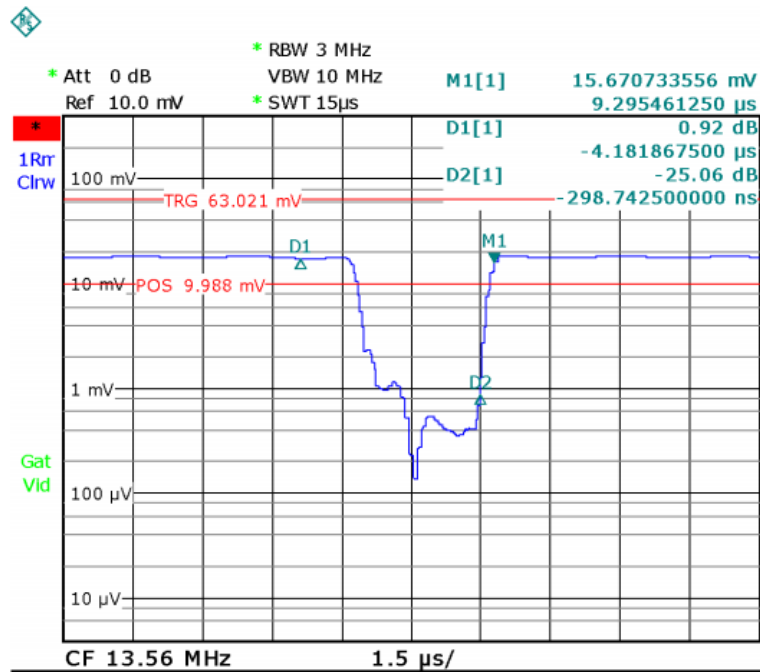


Рисунок 8.15 – Параметр t3 приобретается путем чтения значения времени D2

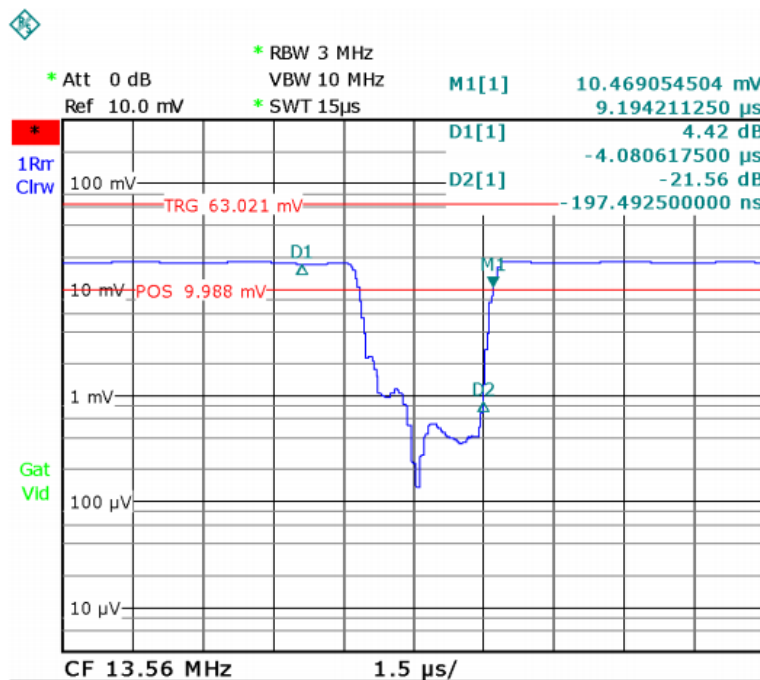


Рисунок 8.16 – Параметр t4 приобретается путем чтения значения времени D2

Временные результаты приведены в таблице 8.9.

Таблица 8.9 - Значения параметров для DUT С

Параметр времени	t1	t2	t3	t4
Время	2.81 мс	1.72 мс	299 нс	197 нс

Перерегулирование достигает 106,32 %.

Коэффициент модуляции 97,24 %.

Коэффициент модуляции, расчет времени и перерегулирования находятся в заданных пределах. Испытание пройдено.

Таблица 8.10 - Сводка результатов испытаний для DUT С

Испытание	Результат
Обнаружение РЧ уровня таргета	Неуспешное выполнение
Режим пассивной связи таргета	Н/О
Напряженность поля инициатора	Неуспешное выполнение
Коэффициент модуляции и форма сигнала инициатора	Выполнено

## 8.2 Micropross

DUT А. Обнаружение РЧ уровня таргета. DUT отключает РЧ поле, когда внешнее РЧ поле имеет значение напряженности поля 0,0653 А/ м. Испытание пройдено.

Режим пассивной связи таргета. DUT не поддерживает пассивный режим связи с более высокими скоростями, и поэтому испытания были пропущены.

Для 106 кбит/с DUT проходит в 1,5 А/м. Когда испытание было проведено с высшими значениями напряженности поля, не было получено ответа от DUT. Это было очень странно, так как DUT прошел испытание с настройками R&S/AIT для значения напряженности поля до 7,5 А/м. Устраняя некоторые неисправности, мы заметили, что расчет времени паузы на генераторе сигналов R&S было 2500 нс по сравнению с 2100 нс на генераторе сигнала от Micropross. Мы решили использовать Shmoо, чтобы изучить поведение тестируемого устройства при увеличении напряженности поля. Сценарий, содержащий SENS\_REQ, был загружен и отправлен с увеличенным расчетом времени паузы в различных напряженностях поля. Время паузы варьировало между 0 и 3000 нс, с шагом 50 нс и напряженность поля изменялась от 0 до 7,5 А/м, с шагом 5%. Как видно из рисунка 9.2.1, требуемое время паузы, x-ось, увеличивается с увеличением напряженности поля, y-axis.

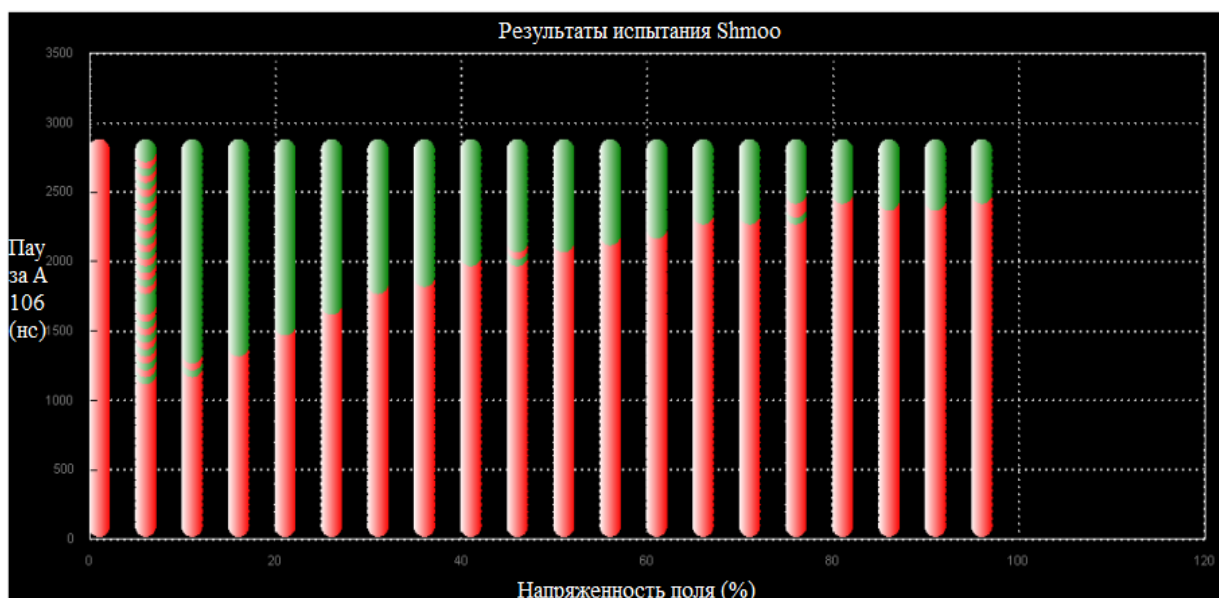


Рисунок 8.17 – Shmoо данные для DUT А

Таблица 8.11 - Значения напряженности поля для DUT А

Параметр	Расстояние, мм	Напряжение, В
H <sub>min</sub>	0	1.44
	10	0.72
H <sub>max</sub>	Любое	0.35

Испытание не пройдено из-за H<sub>min</sub>, он не достигает 3 V в любом положении.

Коэффициент модуляции и формы сигнала инициатора. Для 212 кбит DUT не обеспечивает достаточный сигнал для запуска. Поскольку не удалось начальное срабатывание, испытания для этой скорости были пропущены. DUT не поддерживает связь на 424 кбит/с.

Для 106 кбит/с, результаты видны в таблицах 8.12.

Таблица 8.12 - Значения параметров для DUT А

Параметр времени	t1	t2	t3	t4
Время, нс	2847.2	2088.8	304	185.6

Перерегулирование достигает 107,48 %.

Коэффициент модуляции 96,26 %.

Коэффициент модуляции, расчет времени и перерегулирование находятся в заданных пределах. Испытание пройдено.



Таблица 8.13 - Сводка результатов испытаний для DUT A

Испытание	Результат
Обнаружение РЧ уровня таргета	Выполнено
Режим пассивной связи таргета	Неуспешное выполнение
Напряженность поля инициатора	Неуспешное выполнение
Коэффициент модуляции и форма сигнала инициатора	Выполнено

DUT B. Обнаружение РЧ уровня таргета. DUT отключает свое РЧ поле, когда внешнее РЧ поле имеет значение напряженности поля 0,2272 А/м. Испытание не пройдено.

Режим пассивной связи таргета. DUT в настоящее время работает с Android 2.3 Gingerbread, которая не поддерживается в режиме эмуляции карты.

Таблица 8.14 - Значения напряженности поля для DUT B

Параметр	Расстояние, мм	Напряжение, В
H <sub>min</sub>	0	4.17
	10	3.1
H <sub>max</sub>	Любое	1.36

Испытание пройдено. Для 106 кбит/с, результаты видны в таблице 8.15.

Таблица 8.15 - Значения параметров для DUT B

Параметр времени	t1	t2	t3	t4
Время, нс	2782.4	2244	386	266.4

Перерегулирование достигает 104,35 %. Коэффициент модуляции 97,73 %.

Коэффициент модуляции, расчет времени и перерегулирование находятся в заданных пределах. Испытание пройдено. Для 212 кбит, результаты видны в таблице 8.16.

Таблица 8.16 - Значения параметров для DUT B

Параметр	t <sub>f</sub>	t <sub>r</sub>	h <sub>f</sub>	h <sub>r</sub>	m
Значение	279.2 нс	624.8 нс	0.001 В	0.003 В	19.4 %

Коэффициент модуляции, расчет времени и перерегулирование находятся в заданных пределах. Испытание пройдено. Для 424 кбит/с, результаты видны в таблице 8.17.

Таблица 8.17 - Значения параметров для DUT В

Параметр	$t_f$	$t_r$	$h_f$	$h_r$	m
Значение	242 нс	159.2 нс	0 В	0.001 В	17.9 %

Коэффициент модуляции, расчет времени и перерегулирование находятся в заданных пределах. Испытание пройдено.

Таблица 8.18 - Сводка результатов испытаний для DUT В

Испытание	Результат
Обнаружение РЧ уровня таргета	Неуспешное выполнение
Режим пассивной связи таргета	Н/О
Напряженность поля инициатора	Выполнено
Коэффициент модуляции и форма сигнала инициатора	Выполнено

DUT С. Обнаружение РЧ уровней таргета. DUT отключает РЧ поле, когда внешнее РЧ поле имеет значение напряженности поля 0,6987 А/м. Испытание не пройдено.

Режим пассивной связи таргета. DUT в настоящее время работает с Android 2.3 Gingerbread, которая не поддерживается в режиме эмуляции карты.

Перерегулирование достигает 107,48 %.

Коэффициент модуляции 96,26 %.

Таблица 8.19 - Значения напряженности поля для DUT С

Параметр	Расстояние, мм	Напряжение, В
$H_{min}$	0	2.4
	10	1.2
$H_{max}$	Любое	0.52

Испытание не пройдено из-за  $H_{min}$ , так как она не достигает 3 В в любом положении.

Коэффициент модуляции и формы сигнала инициатора. Из-за плохого согласования, запуск более высоких скоростей невозможно, и испытания для этих скоростей передачи были пропущены.

Для 106 кбит/с, результаты видны в таблице 8.20.

Таблица 8.20 - Значения параметров для DUT С

Параметр времени	t1	t2	t3	t4
Время, нс	2830	1836	350	141

Перерегулирование достигает 106,02 %.

Коэффициент модуляции 97,68 %.

Коэффициент модуляции, расчет времени и перерегулирование находятся в заданных пределах. Испытание пройдено.

Таблица 8.21 - Сводка результатов испытаний для DUT С

Испытание	Результат
Обнаружение РЧ уровня таргета	Неуспешное выполнение
Режим пассивной связи таргета	Н/О
Напряженность поля инициатора	Неуспешное выполнение
Коэффициент модуляции и форма сигнала инициатора	Выполнено

## **Заключение**

NFC имеет широкий спектр применения. Оплата общественного транспорта, функциональность кредитной карты и настройки других типов беспроводных соединений - лишь несколько примеров возможностей. Технология NFC предназначена в основном для использования в мобильных телефонах, все функции, которые освоены NFC, станут доступны для вашего кармана.

Основной целью этой работы было собрать систему измерения NFC для использования на операционной системе Android. Это оказалось не так легко, как предполагалось первоначально. У нас не было опыта работы с технологией NFC, и когда возникали вопросы, доступные помощи были ограничены.

Стандарты ISO / ECMA для NFC не очень ясны, когда объясняются примеры испытаний, калибровка и требования. ECMA-340 и ECMA-356 не были обновлены с 2004 года, но NFC Форум к счастью, работает над переписью и улучшением технических спецификаций РЧ. В этих новых спецификациях контрольное устройство, используемое в ECMA-356, заменяется со опорным устройством и возможности испытаний EMVCo добавлены на RFID с типом В.

Решение от Micropross является очень перспективным, хотя некоторые улучшения приходится принимать для того, чтобы быть полностью эффективным решением. Есть несколько ограничений в программном обеспечении, например, изменение продолжительности паузы и способ работы программного обеспечения с помощью осциллографа. Эти вопросы были зарегистрированы непосредственно в Micropross.

Недостатком установки является то, что оно не автоматизированное, как решение от Micropross. Другим недостатком является то, что оно не поддерживает испытание в активном режиме связи. Однако, это не проверялось во время работы, поскольку не было никаких доступных телефонов, которые поддерживали активный режим связи.

## Список сокращений

дБм – логарифмическая мера мощности, связанная с 1 мВт ВЧ-мощности

ЛВС - Локально-вычислительная сеть

ATR\_REQ – Атрибут запроса

ATR\_RES – Атрибут ответа

ASK – Кодирование со сдвигом амплитуды

CMR – Ослабление синфазного сигнала

CRC – Циклический контроль избыточности

DUT – Испытуемое устройство

ЕСМА – Европейская ассоциация производителей компьютеров

EMVCo – Europay, MasterCard and Visa Corporation

FSK – Кодирование со сдвигом частот

IEC – Международная электротехническая комиссия

ISO – Международная организация по стандартизации

LSB – Наименее значащий бит

MSB – Наиболее значащий бит

NFCIP Интерфейс и протокол NFC

NRZ – Потенциальный способ записи без возвращения к начальному состоянию

NXP – Next eXPerience Semiconductors

PCB – Печатная плата

PCD – Близость сцепного устройства

PICC – Близость карты с интегральной схемой

PSK – Кодирование со сдвигом фазы

RF – Радиочастота

RFID– Радиочастотная идентификация

R & S – Rohde & Schwarz

SENS\_REQ – Запрос считывания

SENS\_RES – Ответ считывания

## Список терминов

Инициатор – термин, используемый в стандартах ISO для описания цепного устройства, которое берет инициативу, чтобы запустить любое закрытое соединение инициированной последовательности.

Поллер – название инициатора в NFC Forum.

Считыватель – активное устройство, что приводит в действие верх и иницирует контакт с пассивным цепным устройством. Считыватель может рассматриваться как подгруппа инициатора.

Таргет – термин, используемый в стандартах ISO для обозначения реагирующих устройств любого закрытого соединения инициированной последовательности. Считыватель и таргет являются основными компонентами каждой системы RFID.

Листенер – название таргета в NFC Forum.

Тэг – пассивное цепное устройство без какого-либо специфического физического размещения. Тег можно рассматривать как подгруппу таргета.

Карта – пассивное цепное устройство с форматом ID-1, то есть типичный размер кредитной карты. Карта может рассматриваться как подгруппа таргета.

Rohde & Schwarz - измерительная установка

## Список литературы

1. NFC-Forum. <http://www.nfc-forum.org>.
2. C. Balanis. Antenna Theory, Analysis and Design. Wiley, third edition, 2005.
3. D. Dobkin. The RF in RFID. Newnes, 2008.
4. K. Breitfuß E. Haselsteiner. Security in Near Field Communication (NFC). 2006.
5. EMVCo. EMV Contactless Communication Protocol Specification v2.0.1. July 2009.
6. V. Nilsson E. Rolf. Near Field Communication (NFC) for Mobile Phones. Master's Thesis, Lund University, August 2006.
7. K. Finkenzeller. RFID Handbook. Wiley, second edition, 2003.
8. B. Glover H. Bhatt. RFID Essentials. O'Reilly, 2006.
9. L. Sundström H. Börjeson, G. Jönsson. Radio Electronics. Lund University, Faculty of Engineering, Department of Electrosience, 2004.
10. M. Menghin, N. Druml, C. Steger, R. Weiss, J. Haid, H. Bock. "The PTF-determinator: A run-time method used to save energy in nfc systems," in Eurasip Workshop RFID 2012, 2012.
11. X. Xu, L. Gu, J. Wang, G. Xing, S.-C. Cheung. "Read more with less: An adaptive approach to energy-efficient rfid systems", Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, vol. 29, no. 8, pp. 1684 –1697, september 2011.
12. K. Finkenzeller. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, 2nd ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2003
13. ECMA International. ECMA-352, Near Field Communication Interface and Protocol (NFCIP-2). December 2003.
14. ECMA International. ECMA-340, Near Field Communication Interface and Protocol (NFCIP-1). December 2004.
15. ECMA International. ECMA-356, NFCIP-1 - RF Interface Test Methods. June 2004.
16. ECMA International. ECMA-362, NFCIP-1 - Protocol Test Methods. December 2005.
17. ISO/IEC. ISO 10373-6, Identification cards – Test methods – Part 6: Proximity cards. April 2004.
18. ISO/IEC. ISO 14443, Identification cards – Contactless integrated circuit cards – Proximity cards. April 2004.
19. ISO/IEC. ISO 18092, Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Near Field Communication - Interface and Protocol. April 2004.

20. H.S. Kortvedt. Securing Near Field Communication. Master's Thesis, Norwegian University of Science and Technology, June 2009.
21. Melexis. Near Field Communication protocol, MLX90121. Rev.001 edition, January 2005.
22. Microchip. microID 13.56 MHz RFID System Design Guide. 2004.
23. C. Mulliner. Attacking NFC Mobile Phones. May 2008.
24. NFC-Forum. NFC Digital Protocol Technical Specification 1.0. December 2010.
25. NFC-Forum. NFC RF Analogue Technical Specification v. 0.34. December 2010.
26. NFC-Forum. NFC RF Analogue Test Specification v. 0.15. January 2011.
27. NXP. PN544/C2 Data sheet. April 2010. Confidential.
28. Austrian Institute of Technology. Reference PICC V2. Rev 3.4 edition, 2009.
29. Austrian Institute of Technology. Test PCD Assembly. Rev 3.4 edition, 2009.
30. A. Paus. Near Field Communication in Cell Phones. July 2007. RuhrUniversität Bochum.
31. J. Pelé. NFC Tehnology from the IC to NFC Middleware. NXP, April 2008.
32. Philips. NFC vs ISO14443 vs Felica. 02 2006. Confidential.
33. M. Ilyas S. Ahson. RFID Handbook, Applications, Technology, Security and Privacy. CRC Press, 2008.
34. J.R. Williams S.B. Miles, S.E. Sarma. RFID, Technology and Applications. Cambridge, 2008.
35. Rohde & Schwarz. RFID Testing. July 2009.
36. Rohde & Schwarz. Measurements on RFID Components According to ISO/IEC 14443 Standard. Third edition, January 2010.
37. Rohde & Schwarz. Pulse Sequencer Software - Software Manual. September 2010.
38. Tektronix. Evaluating and Optimizing Radio Frequency Identification (RFID) Systems Using Real-Time Spectrum Analysis. April 2004.
39. M. Puglia V.D. Hunt, A. Puglia. RFID, A Guide to Radio Frequency Identification. Wiley, 2007.
40. M. Hadhoud W. Ali, W. ElKilani. Simulation of NFCIP-1 Protocol over NS-2. May 2010.
41. S.W. Lee Y.T.Lo, editor. Antenna Handbook Volume II Antenna Theory. Van Nostrand Reinhold, 1993.



## Приложение А

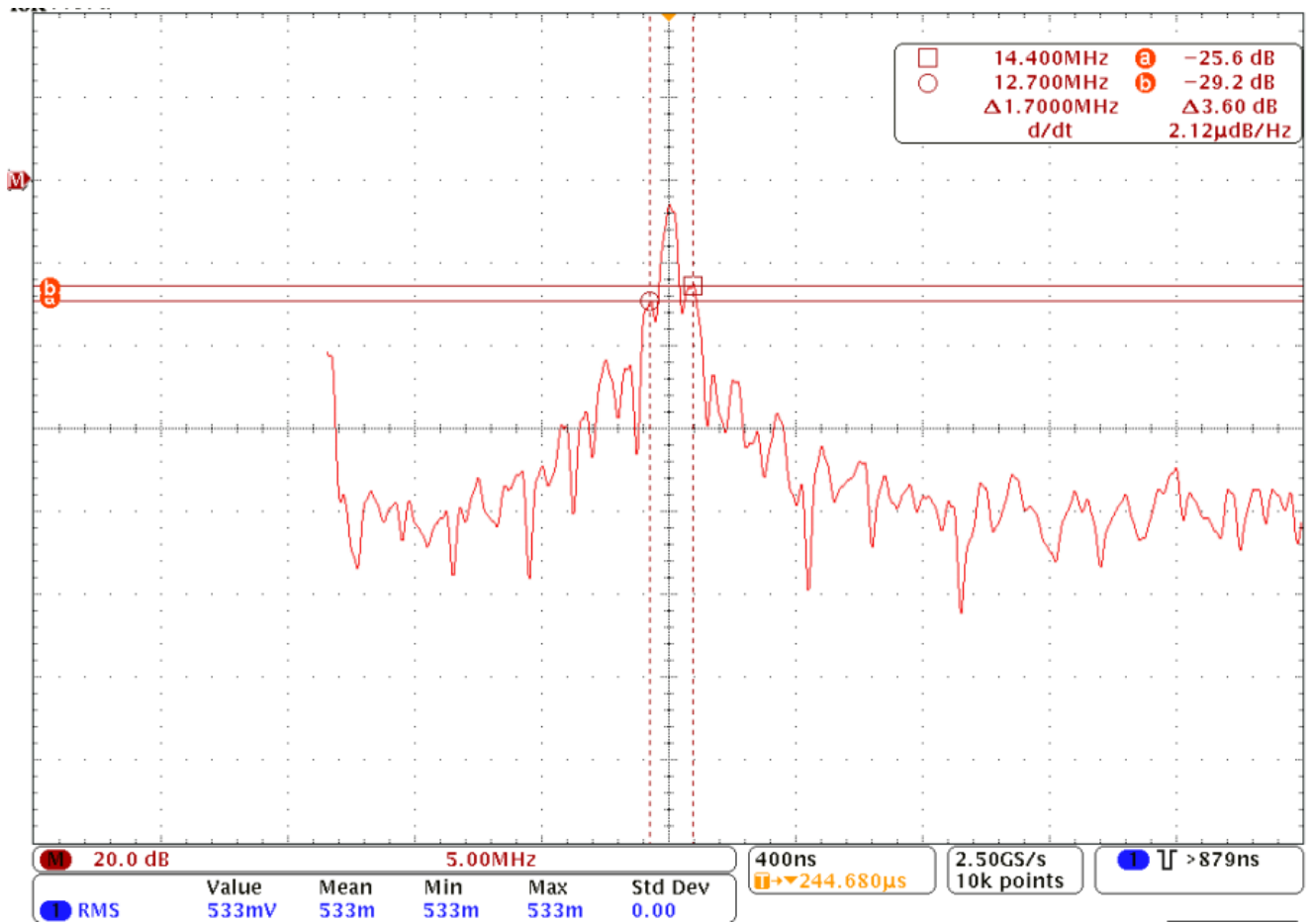


Рисунок А.1 – Частотная спецификация в  $H_{\max}$  в среде модулирования Tek PreVu

Продолжение приложения А

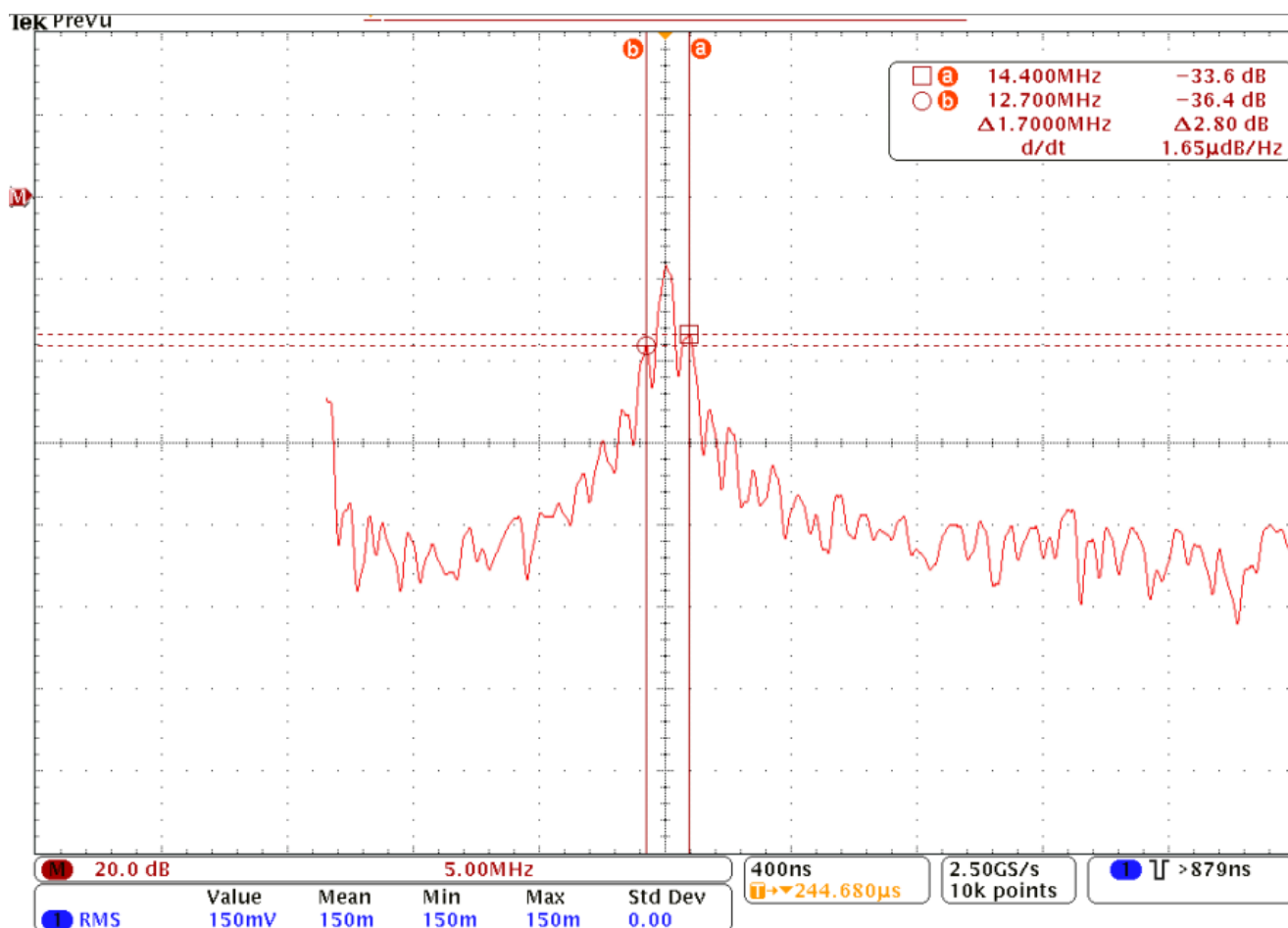


Рисунок А.2 – Частотная спецификация в  $H_{min}$  в среде модулирования Tek PreVu

## Приложение Б

### Отчеты по испытаниям Microposs: DUT B

#### 1. RESULT TABLE

1.1. Test Suite Name : ISO 22536 RF NFC Device

Test Type Test Name Log Status

1 \18092\_NFC IP1 (normative tests)\8.

Functional test Target

TC 8.1 Target RF level detection FAILED

2 \18092\_NFC IP1 (normative tests)\9.

Functional test Initiator\TC 9.1

Initiator Field strength in active and passive communication

Procedure for Hmax PASSED

3 \18092\_NFC IP1 (normative tests)\9.

Functional test Initiator\TC 9.1

Initiator Field strength in active and passive communication

Procedure for Hmin FAILED

4 \18092\_NFC IP1 (normative tests)\9.

Functional test Initiator\TC 9.2

Initiator modulation index and waveform in active and passive communication\TC 9.2 106kbps (NFC-A)

Calibration coil PASSED

5 \18092\_NFC IP1 (normative tests)\9.

Functional test Initiator\TC 9.2

Initiator modulation index and waveform in active and passive communication\TC 9.2 212kbps (NFC-F 212)

Calibration coil FAILED

6 \18092\_NFC IP1 (normative tests)\9.

Functional test Initiator\TC 9.2

Initiator modulation index and Calibration coil waveform in active and passive communication\TC 9.2 424kbps

(NFC-F 424)

## 2. DETAIL REPORT

2.1. Test Suite Name : ISO 22536 RF NFC Device

1. Test Name : TC 8.1 Target RF level detection

Test Type : 18092\_NFC IP1 (normative tests)\8. Functional test Target

*Продолжение приложения Б*

Test Result : FAILED

Test Log :

HThreshold = 0,6987 A/m

ERR: TC 8.1 Target RF level detection Failed

2. Test Name : Procedure for Hmax

Test Type : 18092\_NFC IP1 (normative tests)\9. Functional test Initiator\TC

9.1

Initiator Field strength in active and passive communication

Test Result : PASSED

Test Log :

Results : The maximum measured value is 0.52 V.

<--- TC 9.1 Initiator field strength in active and passive communication

(Hmax) Succeeded3. Test Name : Procedure for Hmin

Test Type : 18092\_NFC IP1 (normative tests)\9. Functional test Initiator\TC

9.1

Initiator Field strength in active and passive communication

Test Result : FAILED

Test Log :

Results : The maximum measured value is 2.4 V at 0 mm and 1.2 V at 10 mm.

ERR: TC 9.1 Initiator field strength in active and passive communication

(Hmin) Failed

4. Test Name : Calibration coil

Test Type : 18092\_NFC IP1 (normative tests)\9. Functional test Initiator\TC

9.2

Initiator modulation index and waveform in active and passive communication\TC 9.2

106kbps (NFC-A)

Test Result : PASSED

Test Log :

Measures :

t1 Measured : 2830 ns

<--- OK

t2 Measured : 1836 ns

<--- OK

t3 Measured : 350 ns

<--- OK  
t4 Measured : 141 ns  
<--- OK  
overshoot Measured : 106.02 %  
<--- OK  
m Measured : 97,68 %  
<--- OK

*Продолжение приложения Б*

<--- TC 9.2 Initiator 106kbps (NFC-A) Succeeded

5. Test Name : Calibration coil

Test Type : 18092\_NFC IP1 (normative tests)\9. Functional test Initiator\TC

9.2

Initiator modulation index and waveform in active and passive communication\TC 9.2

212kbps (NFC-F 212)

Test Result : FAILED

Test Log :

Measures :

tf Measured : 5476,8 ns

ERR: tf not between 0 ns and 2000.0 ns NOK

m Measured : 2.78 %

ERR: m not between 8 % and 30 % : NOK

tr Measured : -4390,4 ns

ERR: tr not between 0 ns and 2000.0 ns NOK

hf Measured : 0,056 V

ERR: hf not between 0 V and 0.0004 V NOK

hr Measured : 0,01 V

ERR: hr not between 0 V and 0.0004 V NOK

m Measured : 3.15 %

ERR: m not between 8 % and 30 % : NOK

ERR: TC 9.2 Initiator 212kbps (NFC-F 212) Failed

6. Test Name : Calibration coil

Test Type : 18092\_NFC IP1 (normative tests)\9. Functional test Initiator\TC

9.2

Initiator modulation index and waveform in active and passive communication\TC 9.2

424kbps (NFC-F 424)

Test Result : FAILED

Test Log :

Measures :

tf Measured : 5476,8 ns

ERR: tf not between 0 ns and 1000.0 ns NOK

m Measured : 2.78 %  
ERR: m not between 8 % and 30 % : NOK  
tr Measured : -4390,4 ns  
ERR: tr not between 0 ns and 1000.0 ns NOK  
hf Measured : 0,056 V  
ERR: hf not between 0 V and 0.0004 V NOK  
hr Measured : 0,01 V  
ERR: hr not between 0 V and 0.0004 V NOK  
m Measured : 3.15 %

*Продолжение приложения Б*

ERR: m not between 8 % and 30 % : NOK  
ERR: TC 9.2 Initiator 424kbps (NFC-F 424) Failed

3. SUMMARY REPORT

3.1. Test Suite Name : ISO 22536 RF NFC Device

Log Status Number %

Passed 2 33,33 %

Failed 4 66,67 %

Not Applicable 0 0,00 %

Inconclusive 0 0,00 %

Error 0 0,00 %

TOTAL 6 100 %