

УДК (537.85+336.717.1):621.395.9

КАК РАБОТАЕТ NFC? ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В БЕСКОНТАКТНЫХ ПЛАТЕЖАХ

Кузьмина А.А., Яровская И.А., студенты

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники¹
г. Минск, Республика Беларусь

Савилова Ю.И. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. В статье исследуются физические принципы работы технологии NFC, основанной на электромагнитной индукции. Рассмотрены параметры индуктивной связи между ридером и тегом, включая расчет коэффициента связи и ЭДС, а также методы модуляции данных. Особое внимание уделено применению технологии в бесконтактных платежных системах Республики Беларусь. Представлены результаты расчетов, подтверждающие эффективность передачи энергии. Определены перспективы развития NFC, включая интеграцию с инфраструктурой «умного города» и повышение безопасности транзакций.

Ключевые слова. NFC, бесконтактные платежи, электромагнитная индукция, закон Фарадея, индуктивная связь, ридер, NFC-тег, передача данных, модуляция нагрузки, безопасность транзакций.

Технология Near Field Communication (NFC) представляет собой беспроводную связь ближнего действия, которая стала неотъемлемой частью повседневной жизни в Республике Беларусь. В Минске и других городах Беларуси бесконтактные платежи с использованием NFC получили широкое распространение: по данным на 2025 год, более 90% платежных терминалов поддерживают эту технологию, а сервисы вроде Белкарт Pay, Apple Pay и Samsung Pay используются миллионами жителей. Это особенно актуально в контексте цифровизации экономики Беларуси, где доля бесконтактных транзакций превышает 50% от общего объема платежей [1]. Более того, NFC становится важным инструментом для обхода некоторых ограничений, связанных с международными платежными системами, что делает ее особенно значимой для белорусского рынка.

NFC работает на основе принципа электромагнитной индукции, открытого Майклом Фарадеем в 1831 году. Согласно закону Фарадея, изменение магнитного потока через контур вызывает электродвижущую силу (ЭДС):

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (1)$$

где Φ_B – магнитный поток; B – магнитная индукция; t – время.

Из данного закона следует, что на рабочем расстоянии NFC-устройств (до 1 см) амплитуды наведенной ЭДС достаточно для устойчивой активации пассивного чипа, что и обуславливает возможность надежной и безопасной бесконтактной транзакции.

Как показано на рисунке 1, NFC устройства (ридер и тег) оснащены катушками-антеннами, которые образуют систему индуктивной связи.

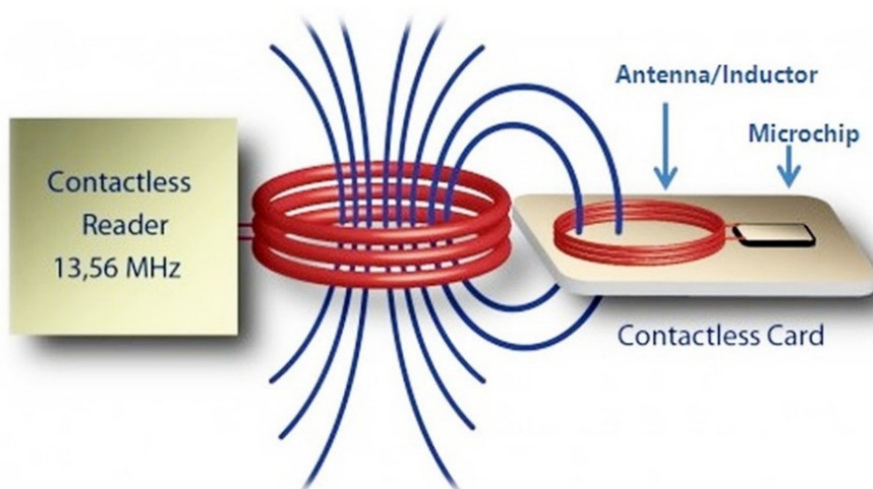


Рисунок 1 – Индуктивная связь ридера и карты

Ридер генерирует переменное магнитное поле на частоте 13.56 МГц (ISM-диапазон), что соответствует стандартам ISO/IEC 14443 и ISO/IEC 18092 [2]. Это поле индуцирует ток в антенне тега, обеспечивая питание пассивных устройств (без батареи) и передачу данных. Диапазон действия ограничен 4–10 см, поскольку в ближнем поле (расстояние \ll длины волны ~ 22 м) доминирует магнитная компонента, минимизируя излучение и помехи.

Коэффициент связи k между катушками определяется геометрией:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1} \cdot \sqrt{L_2}} \quad (2)$$

где M – взаимная индуктивность; L_1, L_2 – индуктивности катушек.

Для типичных NFC-антенн (радиус ридера 2.5 см, тега 2 см, расстояние 1 см) расчет с использованием приближения Неймана дает $M \approx 1.95 \times 10^{-8}$ Гн (генри). При токе в ридере 0.1 А амплитуда индуцированной ЭДС в теге составляет около 0.166 В, достаточной для активации чипа. Эти расчеты демонстрируют, как эффективность связи падает с расстоянием: при 10 см k уменьшается в 10 раз, делая связь невозможной [3]. Поскольку при фиксированных параметрах системы ЭДС пропорциональна коэффициенту связи $\mathcal{E} \propto k$, их зависимости от расстояния удобно представить на одном графике (рисунок 2). Это позволяет наглядно оценить, как с увеличением зазора между антеннами одновременно снижаются обе величины, определяющие рабочую зону NFC.

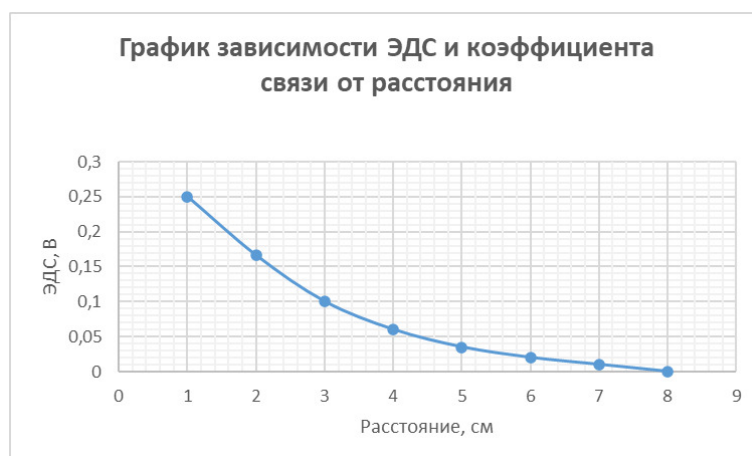


Рисунок 2 – График зависимости ЭДС и коэффициента связи от расстояния

Модуляция данных происходит через изменение нагрузки: тег модулирует поле ридера, используя схемы вроде Manchester или Miller coding на скоростях 106–848 кбит/с. Принцип такой модуляции нагрузки проиллюстрирован на рисунке 3.

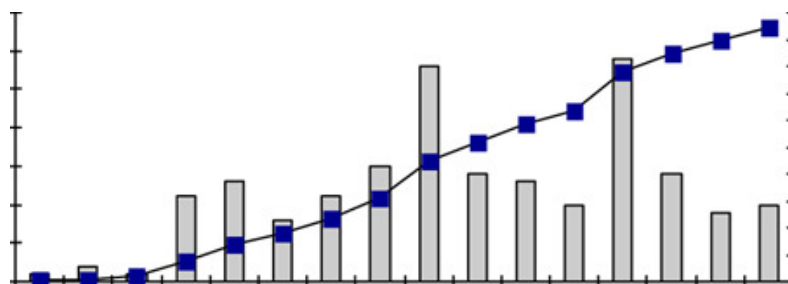


Рисунок 3 – Модуляция нагрузки

В бесконтактных платежах NFC эмулирует смарт-карты через Host Card Emulation (HCE), позволяя смартфонам или картам передавать зашифрованные данные. HCE позволяет хранить данные карты в облаке, а не на устройстве, что повышает безопасность транзакций. Процесс выглядит следующим образом:

Ридер (терминал) активирует поле.

Тег (карта/смартфон) получает энергию и отвечает.

Данные шифруются (например, токенизацией в Apple Pay) и передаются. NFC-транзакции обычно защищены криптографическими протоколами, такими как EMVCo [4].

В Беларуси NFC внедрено с 2013 года: МТС и Mastercard установили первые терминалы в Минске. К 2026 году Белкарт Pay доминирует, работая на Android/Huawei с NFC, и принимается везде, где есть бесконтактные терминалы Белкарт. Белкарт Pay – это пример успешной адаптации технологии NFC к местным условиям. В Минске, где плотность терминалов высока (например, в сети "Корона"), ограничения на сервисы стимулируют локальные инновации, как NFC-браслеты Mi Smart Band от Альфа-Банка. Короткий диапазон минимизирует риски перехвата, а токенизация предотвращает утечки данных.

Современные научные исследования в области NFC смещаются в сторону энергоэффективности пассивных тегов и повышения добротности резонансных контуров. Оптимизация геометрии антенн (спирали, меандры) и выбор материалов с высокой магнитной проницаемостью позволяют увеличить коэффициент связи k и передаваемую мощность, что критически важно для стабильной работы в условиях городской застройки с повышенным уровнем электромагнитных шумов. NFC может использоваться не только для платежей, но и для идентификации, контроля доступа и других задач в умном городе. Расчеты показывают, что для терминалов (мощность ~1 Вт) передаваемая мощность на расстоянии 1 см составляет ~10 мВт, что достаточно для проведения транзакций без использования батареи в теге.

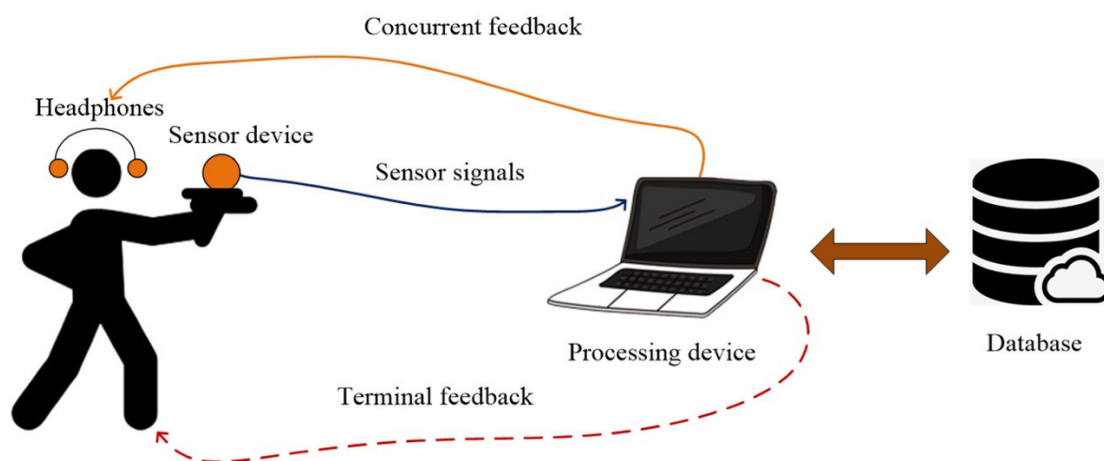


Рисунок 4 – Концептуальная схема умного города с NFC

Технология NFC, основанная на принципе электромагнитной индукции, значительно усовершенствовала систему платежей в Беларуси, обеспечивая безопасную и быструю связь между устройствами. Локальные разработки, такие как Белкарт Pay, успешно адаптированы к текущим экономическим условиям и способствуют росту доли бесконтактных транзакций, которая, по прогнозам, достигнет 70% к 2030 году. Дальнейшая эволюция NFC видится в интеграции с инфраструктурой 5G и расширении сфер применения технологии за пределы платежей — в области идентификации, верификации и защищенного обмена данными в концепции «умного города» (рисунок 4). Если сегодня NFC-оплата в транспорте реализована точечно (отдельные автобусы или ветки метро), то эволюция технологии подразумевает построение целостной системы оплаты и идентификации на всех видах транспорта. Благодаря интеграции с ного обслуживанием пассажиров: пассажир сможет не только оплатить проезд в любом виде транспорта единым касанием смартфона (через Белкарт Pay), но и рассчитать полную стоимость поездки с учетом пересадок. Более того, инфраструктура начнет работать на опережение — NFC-считыватели на входе в транспортный узел будут верифицировать льготы пассажира и автоматически применять их ко всем сегментам поездки, а на остановках — предоставлять персонализированную информацию о прибытии транспорта, подгружаемую через 5G в реальном времени. Таким образом, технология перестанет быть просто «турникетом» и станет полноценным проводником в умной городской среде, где оплата, идентификация и навигация слиты воедино.

Список использованных источников:

1. Национальный банк Республики Беларусь. Платежный рынок Республики Беларусь : статистический бюллетень за 2025 год. – Минск : Нацбанк РБ, 2026. – (Данные по безналичным расчетам в розничном товарообороте за 2025 год; доля безналичных операций по сумме — 64,2%) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.nbrb.by/>
2. ISO/IEC 14443-1:2018. Cards and security devices for personal identification — Contactless proximity objects — Part 1: Physical characteristics. – Geneva : ISO, 2018.
3. Финкенцеллер, К. Справочник по RFID. Теоретические основы и практическое применение индуктивных радиоприборов и систем идентификации / К. Финкенцеллер ; пер. с нем. – М. : ДМК Пресс, 2016. – 496 с.
4. NFC Forum. NFC Digital Protocol Technical Specification. Version 2.0. – Wakefield : NFC Forum, 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://nfc-forum.org/>

UDC (537.85+336.717.1):621.395.9

HOW DOES NFC WORK? A STUDY OF THE PHYSICS OF ELECTROMAGNETIC INDUCTION IN CONTACTLESS PAYMENTS

Kuzmina A.A., Yarovskaya I.A., students

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Savilova Yu.I. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Annotation. This article examines the physical principles underlying NFC technology, which is based on electromagnetic induction. It considers the parameters of inductive coupling between the reader and the tag, including the calculation of the coupling coefficient and the induced voltage, as well as data modulation methods. Particular attention is paid to the application of the technology in contactless payment systems in the Republic of Belarus. The results of calculations confirming the efficiency of energy transfer are presented. The prospects for the development of NFC are identified, including integration with 'smart city' infrastructure and improved transaction security.

Keywords. NFC, contactless payments, electromagnetic induction, Faraday's law, inductive coupling, reader, NFC tag, data transmission, load modulation, transaction security.