



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## NÁVRH A REALIZACE UNIVERZÁLNÍ NFC ČTEČKY

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A UNIVERSAL NFC READER.

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

František Jirásek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Baštán

BRNO 2022

# Semestrální práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** František Jirásek

**ID:** 220989

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2021/22

**NÁZEV TÉMATU:**

## Návrh a realizace univerzální NFC čtečky

### POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Práce se zabývá návrhem embedded systému, který umožně čtení dat z běžně dostupných NFC tagů a jejich sdílení prostřednictvím vhodného průmyslového komunikačního rozhraní.

1. Seznamte se s principem NFC a jeho standardy a čtečkami dostupnými na trhu.
2. Definujte požadavky na NFC čtečku.
3. Navrhňte koncepci zařízení.
4. Navrhňte HW zařízení.
5. Realizujte zařízení.
6. Navrhňte koncepci SW.
7. Implementujte SW.
8. Zařízení otestujte a zhodnoťte dosažené výsledky.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

GAJSKI, Daniel D., et al. Embedded system design: modeling, synthesis and verification. Springer Science & Business Media, 2009.

**Termín zadání:** 20.9.2021

**Termín odevzdání:** 3.1.2022

**Vedoucí práce:** Ing. Ondřej Baštán

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Podstatou této bakalářské práce je návrh a následná realizace univerzální NFC čtečky, která bude zabudována ve školním Testbedu nazývaném „Samo-činný barman“. Čtečka bude fungovat jako podstavec pro skleničky obsahující NFC tagy, ze kterých bude poté schopná zjistit kompletní recepturu výsledného produktu, jenž má Samo-činný barman namíchat do skleničky. Veškeré provedené funkce budou navíc signalizovány RGB LE diodami.

## **Klíčová slova**

NFC čtečka, Testbed samo-činný barman, Ethernet, Power over Ethernet, W5500, ESP32-WROOM-32

## **Abstract**

The essence of this bachelor's thesis is the design and subsequent implementation of a universal NFC reader, which will be built into the school Testbed called "Self-employed bartender". The reader will act as a base for glasses containing NFC tags, from which it will then be able to find out the complete recipe of the final product to be mixed into the glass. In addition, all performed functions will be signaled by RGB LE diodes.

## **Keywords**

NFC reader, Testbed self-acting barman, Ethernet, Power over Ethernet, W5500, ESP32-WROOM-32

## **Bibliografická citace**

JIRÁSEK, František. *Návrh a realizace univerzální NFC čtečky* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/137430>. Semestrální práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Ondřej Baštán.

# PROHLÁŠENÍ

## Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	<i>František Jirásek</i>
<b>VUT ID studenta:</b>	220989
<b>Typ práce:</b>	<i>Bakalářská práce</i>
<b>Akademický rok:</b>	2021/22
<b>Téma závěrečné práce:</b>	<i>Návrh a realizace univerzální NFC čtečky</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 19.května 2022

-----  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Baštánovi za pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: 19.května 2022

-----  
podpis autora

# Obsah

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>10</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>1. CÍL PRÁCE.....</b>	<b>12</b>
1.1 POŽADAVKY NA UNIVERZÁLNÍ NFC ČTEČKU .....	12
1.1.1 Konstrukce .....	12
1.1.2 Napájení.....	12
1.1.3 Komunikace .....	12
<b>2. NFC TECHNOLOGIE .....</b>	<b>13</b>
2.1 REŽIMY NFC ZAŘÍZENÍ .....	13
2.1.1 Režim Čtení/Zápis .....	13
2.1.2 Režim Peer-to-Peer.....	14
2.1.3 Režim Emulace karty.....	14
2.1.4 Režim Bezdrátové nabíjení.....	15
2.2 NFC TAG.....	16
2.3 NFC vs. RFID .....	17
2.4 STANDARDY NFC .....	17
2.4.1 NDEF .....	18
2.4.2 SNEP.....	18
2.4.3 ISO/IEC 14443.....	18
2.4.4 ISO/IEC 15693.....	19
2.4.5 JIS X 6319.....	19
<b>3. ETHERNET.....</b>	<b>20</b>
MODBUS TCP .....	21
3.1 21	
<b>4. POWER OVER ETHERNET (POE) .....</b>	<b>23</b>
4.1 ZAPOJENÍ PoE.....	23
4.2 ČÁSTI PoE .....	24
<b>5. PRŮMYSLOVÁ NFC ČTEČKA .....</b>	<b>26</b>
5.1 PRŮZKUM TRHU .....	26
5.2 SROVNÁNÍ VYBRANÝCH PRODUKTŮ .....	28
<b>6. NÁVRH UNIVERZÁLNÍ NFC ČTEČKY .....</b>	<b>29</b>
6.1 BLOKOVÝ DIAGRAM.....	29
6.2 ESP32.....	30
6.3 PoE.....	30
6.4 3V3 POWER SUPPLY.....	31
6.5 ETHERNET .....	32
6.6 NFC FRONTEND .....	33
6.7 ETHERNET CONNECTOR.....	38

6.8	SIGNALIZACE .....	39
<b>7.</b>	<b>REALIZACE - HARDWARE.....</b>	<b>40</b>
7.1	NÁVRH DPS .....	40
<b>8.</b>	<b>REALIZACE – SOFTWARE .....</b>	<b>42</b>
8.1	KNIHOVNY .....	42
8.2	ČTENÍ DAT Z ČIPŮ.....	43
8.3	KOMUNIKACE.....	44
8.4	DOTYKOVÝ SENZOR .....	44
8.5	SIGNALIZACE .....	45
<b>9.</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>46</b>
	<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>52</b>



# SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Režim Čtení zápis [2] .....	14
2.2	Režim Peer-to-Peer [2] .....	14
2.3	Režim Emulace karty [2] .....	15
2.4	Režim Bezdrátové nabíjení [2] .....	15
3.1	Konektor RJ-45 [15] .....	20
3.2	Architektura Modbus TCP [31] .....	21
3.3	Zapouzdření dat Modbus TCP [33] .....	22
4.1	PoE-Napájení po volných párech (režim B) [14] .....	23
4.2	PoE-Napájení po aktivních párech (režim A) [17] .....	24
5.1	Čtečka Ubiquiti UA-Lite [26] .....	26
5.2	Čtečka ACS ACR1255U-J1 [27] .....	27
5.3	Čtečka ACS ACR1251 USB Black NFC II [28] .....	27
6.1	Blokový diagram univerzálního NFC .....	29
6.2	ESP32-WROOM-32D [19] .....	30
6.3	Schéma zapojení čipu TX4139 .....	31
6.4	Schéma zapojení regulátoru AMS1117 .....	32
6.5	Propojení čipu W5500 s MCU [22] .....	32
6.6	Schéma zapojení čipu W5500 .....	33
6.7	Schéma zapojení části NFC Fronted .....	33
6.8	RF obvod pro správnou funkci antény [29] .....	34
6.9	Sériové zapojení náhradního obvodu navrhované antény [29] .....	35
6.10	Paralelní zapojení náhradního obvodu navrhované antény [29] .....	36
6.11	Schéma zapojení konektoru RJ-45 .....	39
6.12	Zapojení LED .....	39
7.1	3D model navržené NFC antény .....	41
7.2	Využití funkce pro doladění délky vodičů .....	41
8.1	Blokový diagram navržené NFC antény .....	42

## SEZNAM TABULEK

2.1	Typy NFC tagů.....	16
3.1	Modbus Datový model .....	22
4.1	Základní parametry PoE.....	23
4.2	Napětí PSE a PD pro jednotlivé režimy .....	24
4.3	Výkonové třídy.....	25
6.1	Nastavení max. výstupního proudu .....	31
6.2	Dosazené hodnoty do programu NFC Antenna tool.....	35
6.3	Složení 24bitových dat .....	39
7.1	Hodnoty pro výpočet šířky měděné cesty.....	40
8.1	Data uložená v Holding registrech .....	44
8.2	Obecná data požadavku a odpovědi .....	44

# ÚVOD

V dnešní době, plné technologií, digitalizace a rychlého vývoje nových nebo pokročilejších technologií je nutné, aby mezi sebou jednotliví účastníci výroby včetně materiálu nějak snadno a rychle komunikovali. Díky této potřebě se v průmyslu i mezi lidmi velmi uchytila technologie NFC.

Je to bezkontaktní komunikační technologie, která je dnes skoro v každém mobilním telefonu, tabletu či chytré elektronice. V průmyslu se s touto technologií můžeme například setkat u dopravních společností, kde jednotlivé zásilky obsahují NFC tagy, na které se zapisuje, co zásilka obsahuje a kam se má zásilka případně dál poslat. Zde se využívá i toho, že NFC tagy nejsou závislé na napájení a dají se lehce přepisovat, takže při změně obsahu zásilky se dají informace na NFC tagu lehce přepsat NFC zařízením, které při čtení či zápisu dodá NFC tagu i potřebnou energii. Tímto způsobem se mohou firmy více automatizovat. Zařízení si sama zapíše informace na NFC tag a předají například danou zásilku dál, kde si další zařízení přečte informace obsažené na NFC tagu a podle toho vykoná další část práce. Jedinou větší nevýhodou je, že tato komunikace mezi zařízeními funguje jen na velmi krátkou vzdálenost, která je okolo 10 cm mezi zařízeními, ale díky tomu je vyšší bezpečnost přenosu dat, protože při takto malé vzdálenosti je těžké zachytit přenos dat cizím zařízením.

Tato bakalářská práce se bude tedy zabývat návrhem a realizací univerzální NFC čtečky, která bude navržena pro školní průmyslový automat nazývaný „Samo-činný barman“. Tento průmyslový automat míchá jednotlivé drinky do skleniček obsahujících NFC tagy a pomocí navržené univerzální NFC čtečky bude z těchto skleniček číst informace o stavu skleničky a další potřebné instrukce pro namíchání zadaného drinku.

V jednotlivých kapitolách Vás postupně seznámím s požadavky na NFC čtečku, popíši jednotlivé technologie navržené NFC čtečky (NFC, PoE a Ethernet). Dále udělám lehký průzkum trhu a rozeberu realizaci navrhované NFC čtečky, která bude obsahovat popis funkce jednotlivých vybraných součástí, návrh jednotlivých schémat a návrh celkové desky plošných spojů. Na závěr bude popis jednotlivých funkcí softwaru pro navrhovanou anténu.

# 1. CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je návrh NFC čtečky. Za tímto účelem bude třeba se seznámit s principy a standardy pro NFC, vyhledat dostupné čtečky na trhu a porovnat s navrhovanou NFC čtečkou, definovat požadavky na NFC čtečku a podle těchto požadavků hardwarově a softwarově navrhnout univerzální NFC čtečku, jež bude zabudována ve školním Testbedu nazvaném „Samo-činný barman“, kde bude tato čtečka schopná číst informace a instrukce z NFC tagů, které budou umístěny na skleničkách připravených na namíchané nápoje. Díky této čtečce by měl být automatický barman schopný z NFC tagu na skleničce zjistit kompletní recepturu výsledného produktu a dát tak skleničce v jistém smyslu vlastní inteligenci. Čtečka bude umístěná v Testbedu místo stávající čtečky, kde bude připojena k řídicímu systému a komunikace bude zprostředkována přes Ethernet prostřednictvím modbus TPC.

## 1.1 Požadavky na univerzální NFC čtečku

Tato sekce definuje požadavky na návrh univerzální NFC čtečky, které jsou brány ze současných trendů a standardů.

### 1.1.1 Konstrukce

Celý návrh obvodu univerzální NFC čtečky bude zhotoven na desce plošných spojů. Rozměry obvodu by měly být co nejmenší, za tímto účelem je nutné v co největší míře využít technologie povrchové montáže SMD součástek. Anténa má být navržena tak, aby sloužila jako podstavec pro skleničky a nepřesáhla maximální požadované rozměry, což je 100x100 milimetrů. Deska plošných spojů bude navržena v programu KiCad. Návrh by měl být poté optimalizován pro strojní výrobu elektroniky.

### 1.1.2 Napájení

Vzhledem k požadavkům na minimalizaci celého obvodu bude využita technologie PoE, přes kterou je možné zařízení napájet a zprostředkovávat s ním komunikaci. Díky této technologii bude u obvodu potřebný jen jeden přívodní kabel, což v návrhu obvodu ušetří trochu místa.

### 1.1.3 Komunikace

Komunikace bude zprostředkována přes Ethernet siemens s7 1200 pomocí modbus TCP.

## 2. NFC TECHNOLOGIE

NFC neboli Near field communication je technologie založená na vysokofrekvenční bezdrátové komunikaci využívající základní frekvenci 13,56 MHz. Tato technologie je navržena pro výměnu dat na krátkou vzdálenost mezi dvěma zařízeními pomocí jednoduchého dotykového gesta. Aby spolu zařízení mohla komunikovat, musí tedy dodržovat požadovanou vzdálenost, která je maximálně okolo 10 cm od sebe. Komunikace je poté definována sadou standardů ISO, která bude podrobněji rozebrána v kapitole 2.4 *Standardy NFC*.

Nyní se lidé mohou setkat s NFC technologií:

- při placení u bezkontaktních platebních terminálů v obchodech
- u bezdrátových chytrých zařízeních se složitějším bezdrátovým připojením, jako je třeba Bluetooth, která se dají pomocí této technologie snáze spárovat
- u identifikace, kde můžeme využívat zařízení s NFC jako identifikační karty či klíčenky

Informace pro tuto sekci byly brány zde [1] [2]

### 2.1 Režimy NFC zařízení

V závislosti na případu použití můžeme NFC zařízení rozdělit do čtyřech základních pracovních režimů.

Informace pro tyto podkapitoly byly brány zde [1] [2] [3]

#### 2.1.1 Režim Čtení/Zápis

V režimu Čtení/Zápis funguje NFC zařízení jako bezkontaktní čtecí zařízení, které je schopné komunikovat s bezkontaktními tagy/štítky či kartami. V tomto režimu není zapotřebí vysoké bezpečnosti vzhledem k povaze komunikace. Režimy vyhovují standardům ISO/IEC 14443 typu A, B a příkazy či instrukce jsou na NFC štítku nebo kartě realizovány pomocí datového formátu NDEF, který nám přesně definuje formát pro zapouzdření zpráv k výměně informací mezi zařízeními NFC. Maximální přenosová rychlost je 106 kbit/s. Případem použití je čtení z chytrých plakátů, kdy se v mobilním telefonu po přečtení otevře konkrétní internetová stránka.



Obrázek 2.1 Režim Čtení zápis [2]

### 2.1.2 Režim Peer-to-Peer

V režimu Peer-to-Peer nám nastává obousměrná komunikace mezi NFC zařízeními, která si po dotyku vymění mezi sebou data. Obousměrná komunikace je zde definována podle standardu (NFCIP-1), který poskytuje základní informace spojové datové vrstvy, jako jsou opravy chyb, potvrzení rámců, jejich řazení atd. Předpokládá se, že během komunikace budou obě zařízení v aktivním režimu. Maximální přenosová rychlost dosahuje 424 kbit/s. Tento režim se dá například využít pro rychlou a snadnou výměnu kontaktních údajů či zpráv.



Obrázek 2.2 Režim Peer-to-Peer [2]

### 2.1.3 Režim Emulace karty

V režimu Emulace karty funguje NFC zařízení jako bezkontaktní karta, která je schopná komunikovat s bezkontaktním čtecím zařízením, NFC zařízení je v tomto případě jako pasivní NFC štítek nebo čip standardu ISO/IEC 14443.

Příkladem toho je emulace bezkontaktní bankovní karty nebo bezkontaktní jízdenky do mobilního zařízení.



Obrázek 2.3 Režim Emulace karty [2]

#### 2.1.4 Režim Bezdrátové nabíjení

Tento režim se používá k bezdrátovému přenosu energie. Komunikace se provádí akorát pro řízení přenosu energie. Režim bezdrátového nabíjení umožňuje NFC zařízením bezdrátový přenos o výkonu až 1 W. Tento režim může tedy nabíjet malá zařízení IoT s omezeným napájením, jako jsou například chytré hodinky, fitness tracker atd.



Obrázek 2.4 Režim Bezdrátové nabíjení [2]

Tyto režimy jsou k dispozici ve stejnou dobu, kdy NFC zařízení generuje na krátký čas vysokofrekvenční signál pro snímání vzdáleného zařízení. NFC zařízení zahájí režim Čtení/Zápis, Peer-to-Peer nebo bezdrátové nabíjení, když je detekováno vzdálené zařízení. Zbytek času zařízení poslouchá požadavky ke komunikaci od vzdálených bezkontaktních čtecích zařízení nebo dalších NFC zařízení a odpovídá na jejich požadavky ke komunikaci.

Protože je časová perioda generování vysokofrekvenčního signálu mnohem kratší než doba poslechu, vyžaduje NFC komunikace relativně nízké napájení. Což je velmi dobré pro NFC zařízení, která jsou přenosná, protože při používání nenastane na baterii nějak razantnější pokles.

## 2.2 NFC tag

NFC tagy jsou bezkontaktní paměťové karty držící zprávy realizované pomocí datového formátu NDEF. NFC Forum definovalo pět různých typů NFC tagů. Tyto různé typy se liší základním komunikačním protokolem a datovou strukturou pro ukládání zpráv NDEF, ale celkové chování NFC tagů je stejné.

Tabulka 2.1 Typy NFC tagů

Typy tagů	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 5
Standard	ISO/IEC 14443A	ISO/IEC 14443A	ISO/IEC 18092 JIS X 6319-4 FELICA	ISO/IEC 14443A ISO/IEC 14443B	ISO/IEC15693
Memory	96 bytes to 2 Kbytes	48 bytes to 2 Kbytes	2 Kbytes	32 Kbytes	64 Kbytes
Data rate	106 kbit/s	106 kbit/s	212 kbit/s, 424 kbit/s	106 kbit/s, 212 kbit/s, 424 kbit/s	26.48 kbit/s
Capability	Read Re-write Read-only	Read Re-write Read-only	Read Re-write Read-only	Read Re-write Read-only Factoryconfigured	Read Re-write Read-only
Anti-collision	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Notes	Simple, cost effective	-	Higher cost, complex applications	-	Vicinity area

Rozdíly v jednotlivých typech NFC tagů můžeme vidět v *Tabulce 2.1 Typy NFC tagů*. Liší se ve velikosti paměti, přenosovou rychlostí dat, různými typy standardů. Ze všech typů se dá číst a dají se přepisovat nebo nastavit do režimu Read-only (jenom čtení). Jen u Typu 4 je rozdíl, že je od výroby nastaven jen pro čtení, pro aktualizace bude zapotřebí specifického servisního vybavení. [4]



## 2.3 NFC vs. RFID

RFID (Radio Frequency Identification) technologie je bezkontaktní výměna dat mezi RFID čtečkou a RFID čipem. Tato technologie byla vyvinuta jako náhrada za čárové kódy a později z ní vychází i technologie NFC. Hlavní rozdíl RFID oproti NFC technologii je, že NFC technologie funguje pouze na vysoké frekvenci okolo 13,56 MHz a její dosah je okolo 10 centimetrů, ale RFID technologie je definována různými provozními frekvencemi:

- **Nízkofrekvenční RFID**, které má frekvenci okolo 125 kHz a dosah má do 10 centimetrů
- **Vysokofrekvenční RFID** s frekvencí 13,56 MHz a dosahem do 150 centimetrů
- **Ultra vysokofrekvenční RFID** s frekvencí 860–950 MHz a dosahem do 12 metrů

V těchto frekvencích pracuje RFID s pasivními RFID čipy. Jsou ale i aktivní čipy s vlastním napájením a zde RFID pracuje na frekvenci 2,5 GHz a jeho dosah je až 100 metrů.

Dalším rozdílem jsou možné pracovní režimy. RFID oproti NFC, které má 4 režimy, nemá žádné režimy. Zde funguje akorát komunikace mezi čtečkou a aktivním či pasivním čipem.

Poté jsou si technologie dost podobné, používají podobné normy pro čtení/zápis či uchovávání dat a využití RFID se od NFC také moc neliší. Využívá se především v průmyslu pro identifikaci produktů, řízení skladů nebo ke správě přístupových dat. Dále se dá využít pro elektronické jízdenky, mikro platby a podobně. [5],[6]

## 2.4 Standardy NFC

Technologie NFC je založena na standardech RFID, zahrnujícího ISO/IEC 14443 a FeliCa, které jsou součástí normy ISO/IEC 18092. Tyto standardy jsou definovány neziskovou organizací NFC forum, jež byla založena firmami Nokia, Philips a Sony. Tato organizace prosazuje a certifikuje NFC zařízení.

NFC technologie je tedy definována skupinou standardů bezkontaktních karet a datovými formáty NDEF a SNEP [1]

### 2.4.1 NDEF

NDEF neboli NFC Data Exchange Format definuje zapouzdření zpráv pro výměnu informací mezi dvěma aktivními zařízeními NFC nebo aktivním zařízením a pasivním NFC tagem. Cílem je definovat pravidla a strukturu dat ke konstrukci funkčních zpráv.

Tento návrh datového formátu počítá s efektivním a jednoduchým formátem zpráv, který by poskytoval:

- Zapouzdření libovolných dat (libovolné dokumenty, obrazová data atd.)
- Zapouzdření dat o neznámé/libovolné velikosti
- Sloučení několika typů dat, které spolu logicky souvisí do jedné zprávy
- Slučování malých bloků dat do jedné zprávy by nemělo zvyšovat složitost parseru [1]

### 2.4.2 SNEP

Simple NDEF Exchange Protocol umožňuje dvěma zařízeními NFC vyměňovat zprávy protokolu NDEF. Je to bezstavový protokol request/response. Obvykle se používá k odeslání kontaktů telefonního seznamu nebo adres URL webových stránek do jiného telefonu. [7]

### 2.4.3 ISO/IEC 14443

Soubor mezinárodních norem se společným názvem: „*Karty a bezpečnostní zařízení pro osobní identifikaci – Bezkontaktní objekty s vazbou na blízko*“.

Dělí se na čtyři hlavní části:

1. **Fyzikální charakteristika** – definice fyzikálních charakteristik karet s vazbou na blízko
2. **Radiofrekvenční výkonové rozhraní a signálové rozhraní** – charakteristika polí zajišťující napájení pro obousměrnou komunikaci mezi zařízeními s vazbou na blízko a kartami s vazbou na blízko
3. **Inicializace a antikolize** – tento dokument popisuje volbu karet, obsah počátečního příkazu Request, metody detekce a komunikace s jednou kartou mezi několika dalšími a další parametry požadované pro inicializaci komunikace
4. **Protokol přenosu** – specifikuje speciální potřeby bezkontaktního prostředí a definuje aktivační a deaktivaci posloupnosti protokolu [8]

#### 2.4.4 ISO/IEC 15693

Patří do souboru norem s názvem: *Karty a bezpečnostní zařízení pro osobní identifikaci – Bezkontaktní objekty s vazbou na dálku.*

Tato norma definuje požadavky specifické pro technologie identifikačních karet vyhovující ISO/IEC 7810 a tenkých ohebných karet. Tyto karty mohou být čteny z větší vzdálenosti (okolo 1 metru)

Dělí se na tři základní části:

1. **Fyzikální charakteristika** – definice fyzikálních charakteristik karet s vazbou na dálku
2. **Vzduchové rozhraní a inicializace** – charakteristika polí zajišťující napájení pro obousměrnou komunikaci mezi zařízeními s vazbou na dálku a kartami s vazbou na dálku
3. **Antikolize a protokol přenosu** – tato část obsahuje protokoly a příkazy, metody detekce a komunikace s jednou kartou mezi několika dalšími a další parametry požadované pro inicializaci komunikace [9]

#### 2.4.5 JIS X 6319

JIS X 6319 je japonská průmyslová norma s názvem *Specification of implementation for integrated circuit(s) cards.*

Dělí se na čtyři základní části:

1. Integrated circuit(s) cards with contacts
2. Proximity cards (Bezdotykové karty)
3. Common commands for interchange
4. High speed proximity cards

[10]

### 3. ETHERNET

Ethernet je souhrn technologií zabývajících se přenosem dat, především v sítích LAN (lokální počítačová síť), které jsou z větší části standardizovány jako IEEE 802.3 (standard určující specifikace fyzické a spojové vrstvy). Ethernet je realizací fyzické (první) a spojové (druhé) vrstvy referenčního modelu ISO/OSI. K propojení jednotlivých zařízení mezi sebou se nejčastěji používá kroucená dvojlinka či optický kabel, jejichž nezbytnou součástí je konektor RJ-45. [11] [12]



Obrázek 3.1 Konektor RJ-45 [15]

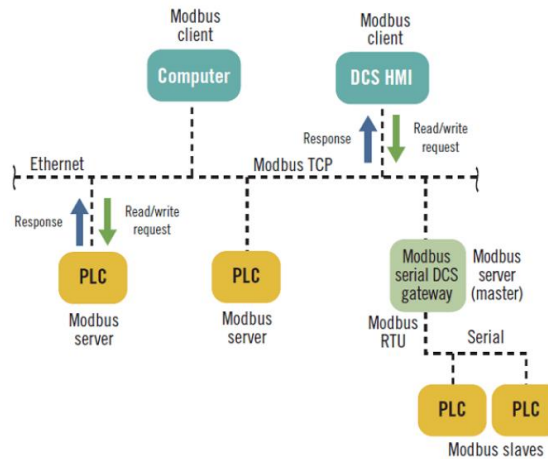
Existuje několik typů Ethernetu v závislosti na výši přenosové rychlosti (Ta se pohybuje od 10Mbit/s až 100Gbit/s):

- **Klasický Ethernet** – původní varianta s přenosovou rychlostí 10 Mbit/s
- **Fast Ethernet** – lze považovat za základní verzi Ethernetu, jeho přenosová rychlost je 100 Mbit/s
- **Gigabitový Ethernet** – rychlejší s přenosovou rychlostí 1000 Mbit/s
- **10gigabitový Ethernet a více** – přenosová rychlost 10 Gbit/s a více, jako přenosové médium se používá optický kabel

Nejobvyklejší rychlost rozhraní je 100Mbit/s a 10Mbit/s. Zařízení pracující s nižší rychlostí se již neprodávají, ale díky zpětné kompatibilitě nových prvků je možné je připojovat. [12]

### 3.1 Modbus TCP

Modbus je komunikační protokol aplikační vrstvy pro přenos informací mezi zařízeními, který je implementován v síti Ethernet, k níž jsou připojeni klienti (clients) a servery (servers) prostřednictvím IP adres.



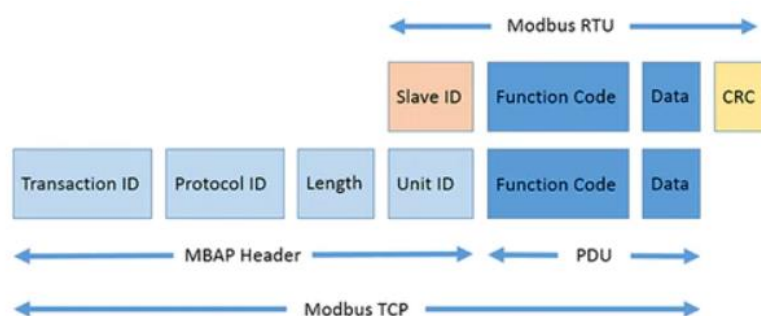
Obrázek 3.2 Architektura Modbus TCP [31]

K přenosům dat dochází mezi klienty a servery. V protokolu jsou definovány 4 typy zpráv:

- Request – zpráva je odeslána klientem
- Indication – zpráva je přijata serverem
- Response – server odeslal zprávu s odpovědí
- Confirmation – zpráva je přijata klientem

Modbus TCP se skládá z části protokolu Modbus RTU a speciální hlavičky, po odstranění adresy SlaveID a kontrolního součtu CRC vznikne PDU (Protocol Data Unit). Po přijetí zprávy PDU se přidá 7-bajtová hlavička MBPA Header (Modbus Application Header) obsahující:

- Transaction Identifier – 2 bajty pro identifikaci
- Protocol Identifier – vždy nastaveny 2 bajty 00 00
- Length – identifikace počtu bajtů v další zprávě
- Unit Identifier – 1 bajt pro jednoznačnou identifikaci



Obrázek 3.3 Zapouzdření dat Modbus TCP [33]

Základní datový model je standardně rozdělen do čtyř různých částí, kde ke každé oblasti náleží jeden ze čtyř základních datových typů.

Tabulka 3.1 Modbus Datový model

Oblast	Velikost	Přístup	Poznámka
Discretes Input	1 bit	Pouze čtení	Poskytováno I/O systémem
Coils	1 bit	Čtení/Zápis	Lze změnit aplikačním programem
Input Registers	16-bitové slovo	Pouze čtení	Poskytováno I/O systémem
Holding Registers	16-bitové slovo	Čtení/Zápis	Lze změnit aplikačním programem

Informace pro tuto sekci byly brán zde [32] [33].

## 4. POWER OVER ETHERNET (POE)

PoE slouží pro napájení po datovém síťovém kabelu bez nutnosti přivést napájecí napětí dalším samostatným kabelem.

Výhodou PoE tedy je ušetření kabelů, a tím i napájecí zásuvky, zjednodušení připojování přístrojů a zajištění zálohovaného napájení, protože při výpadku je obvykle napájen zálohovaně z UPS (zdroje nepřerušovaného napájení).

Omezením jsou malé proudy a díky tomu i menší výkon.

Tabulka 4.1 Základní parametry PoE

Napětí	44–57 V
Maximální proud	550 mA
Maximální zapínací proud	500 mA
Typický proud	10–350 mA
Detekce přetížení	350–500 mA

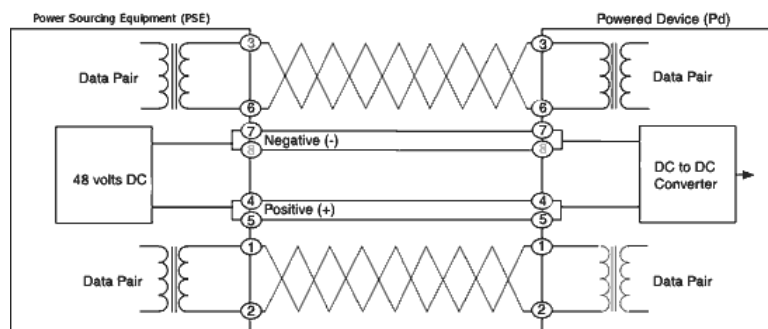
### 4.1 Zapojení PoE

Máme zde osm vodičů rozdělených do čtyř párů. Vodiče jsou podle normy očíslovány od 1 až do 8 a takto jsou rozděleny do párů A a B:

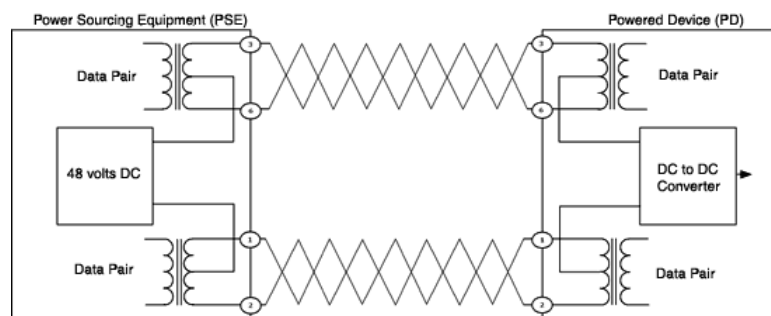
- 1 a 2 (A) + 3 a 6 (A')
- 4 a 5 (B) + 7 a 8 (B')

Pro napájení se využívá dvou možných způsobů:

- Napájení po volných nevyužitých párech v datovém kabelu (režim B)
- Napájení napětím mezi dvojicí aktivních párů vodičů, po kterých se zároveň přenáší i data (režim A) [13]



Obrázek 4.1 PoE-Napájení po volných párech (režim B) [14]



Obrázek 4.2 PoE-Napájení po aktivních párech (režim A) [17]

## 4.2 Části PoE

Jak je vidět na obrázcích 5.1 a 5.2, tak se PoE skládá ze dvou částí. První částí je napájecí zdroj neboli PSE (Power Sourcing Equipment), který tvoří řídicí prvek PoE. Druhá část je zdroj napájeného spotřebiče PD (Powered Device), jehož úkolem je identifikace na základě požadavků PSE a obsluha (zapínání a vypínání spotřebiče).

Tyto dvě části mezi sebou komunikují v analogové rovině, aby komunikace fungovala, musí obě zařízení odpovídat standardu IEEE802.3af, poté komunikace probíhá na základě jednoduchého modelu:

1. Detekce zařízení odpovídajícího PoE
2. Určení výkonové třídy napájeného zařízení
3. Aktivace napájecího zdroje napájeného zařízení
4. Napájení
5. Klidový režim

Tabulka 4.2 Napětí PSE a PD pro jednotlivé režimy

Rozsah napětí PSE	Rozsah napětí PD	Režim
2,8-10 V	2,7-10,1 V	Detekce
15,5-20,5 V	14,5-20,5 V	Identifikace třídy
30-44 V	30-42 V	Aktivace PD
44-57 V	36-57 V	Napájení
0-2,8V	-	Klid

Detekce zařízení probíhá měřením zatěžovacího odporu, který je pro standard PoE 25 k $\Omega$ . PSE použije do obvodu stejnosměrné napětí 2,8-10 V, pokud PD detekuje odpor v rozmezí 24,1-26 k $\Omega$ , odpovídá zařízení standardu IEEE802.3af. Detekce zařízení musí probíhat nezávisle na polaritě, což se řeší diodovým usměrňovačem.



U určování výkonové třídy napájecího zařízení je definováno pět různých výkonnostních tříd, které můžeme vidět v *Tabulce 4.3 Výkonové třídy*.

Tabulka 4.3 Výkonové třídy

Třída	Proud [mA]	Max. příkon PD	Max. výkon PSE	Popis
0	0-4	12,95 W	15,4 W	Neznámý příkon
1	9-12	3,84 W	4 W	Nízký příkon PD
2	17-20	6,49 W	7 W	Střední příkon PD
3	26-30	12,95 W	15,4 W	Vysoký příkon PD
4	36-44	12,95 W	15,4 W	Pro budoucí použití

Při aktivaci PD se zvýší napájecí napětí na hodnotu 30-44 V (označovaná jako UVLO – Under Voltage Lock Out). To je signálem pro zdroj PD, aby uvolnil výstup napájecího napětí.

Klidový režim se týká pouze PSE a je definován napětím 0-2,8 V. Tento režim nastává v případě, kdy není PSE schopen detekovat zařízení odpovídající standardu PoE.

Informace pro tuto sekci byly brány zde [16]

## 5. PRŮMYSLOVÁ NFC ČTEČKA

Tato část se bude zabývat průzkumem typů NFC čteček dostupných na trhu a hledáním NFC čtečky, která bude mít podobné parametry jako mnou navrhovaná čtečka.

### 5.1 Průzkum trhu

Jako první je NFC čtečka **Ubiquiti UA-Lite UniFi Access Reader Lite - NFC, BT, PoE** od firmy Ubiquiti (<https://www.ui.com/>), která podporuje napájení pomocí PoE, komunikuje přes 10/100Mbps ethernet, podporuje čtení standardů NFC Tag 1, 2, 3, 4, 5, MIFARE Classic, MIFARE Plus, MIFARE Ultralight, MIFARE DESFire EV1/EV2 a její rozměry jsou 95\*40 mm.

Tato čtečka je součástí uceleného přístupového systému, vypadá, že je velmi kvalitně zpracována a podle výrobce je předností zařízení rychlá a snadná instalace. Díky krytí IP54 může být umístěna i venku pod střechou.

Tato čtečka se dá sehnat na internetovém obchodě [czc.cz](http://czc.cz) za cenu 2557 Kč nebo na stránkách výrobce, který ji prodává za 79 € (1963 Kč).



Obrázek 5.1 Čtečka Ubiquiti UA-Lite [26]

Dále už jsou stolní NFC čtečky, které jsem našel u obchodníka [Mironet.cz](http://Mironet.cz). Zde byla asi největší nabídka NFC čteček. Nejvíce mne tam zaujaly čtečky jako **ACS ACR1255U-J1** a **ACS ACR1251 USB Black NFC II**. Tyto čtečky už tedy nepodporují funkci PoE, ale jsou propojené s počítačem pomocí USB portu. S takovými čtečkami se můžeme nejčastěji setkat například na vrátnici kde se vrátnému prokazuje zaměstnaneckým čipem nebo ve firemní jídelně, kde si čipem přes tyto čtečky můžeme zaplatit oběd.

Čtečka **ACS ACR1255U-J1** podporuje kromě NFC i Bluetooth. Funkci čtení a zápis na kartu podporuje u standardů FeliCa, ISO 14443A Mifare® MF1 1K&4K, MIFARE. Rozměry této čtečky jsou 85x54 mm. Cena této čtečky je na stránkách mironet.cz 1190kč.

Čtečka **ACS ACR1251 USB Black NFC II** podporuje čtení a zápis u karet standardů FeliCa, ISO 14443A Mifare® MF1 1K&4K, ISO 14443B iClass, ISO/IEC 18092 NFC, ISO18092 FeLiCa, MIFARE, NFC tags. Její rozměry jsou 98x65 mm a cena na stránkách mironet.cz je 1006 Kč.



Obrázek 5.2 Čtečka ACS ACR1255U-J1 [27]



Obrázek 5.3 Čtečka ACS ACR1251 USB Black NFC II [28]

## 5.2 Srovnání vybraných produktů

Průzkumem trhu bylo zjištěno, že čtečka našich parametrů, která by mohla po připevnění sloužit jako podstavec pro skleničku a podporovala funkci PoE, se nevyrábí, a že NFC čteček podporující PoE je na běžném trhu velmi málo. Tyto typy čteček jsou spíše na zakázku. Při prozkoumávání internetu jsem narazil na jednu francouzskou firmu dělající na zakázku přístupové NFC čtečky podporující PoE, které by se daly díky rozměrům a tvaru pouzdra podle fotek použít místo navrhované čtečky, ale díky nedostatečným informacím o této firmě, o produktu a nemožnosti zjištění ceny jsem tuto firmu a jí podobné v mém porovnávání vynechal.

Ceny čteček na trhu se pohybují od 1000 Kč výše a odvíjí se od počtu podporujících standardů pro čtení a zápis a od toho zda-li podporují další způsoby bezkontaktní komunikace.

## 6. NÁVRH UNIVERZÁLNÍ NFC ČTEČKY

V následujících podkapitole je předveden a popsán blokový diagram zobrazující propojení jednotlivých částí NFC čtečky, jejíž koncepce byla vytvořena na základě požadavků, které byly definovány v kapitole 1.1. Následně jsou podrobněji popsány funkce jednotlivých částí blokového diagramu.

### 6.1 Blokový diagram

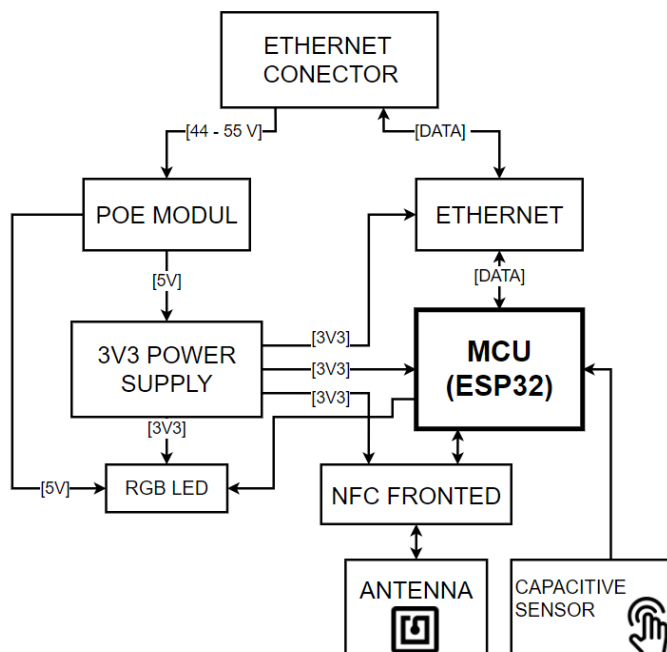
Na obrázku 6.1 je zobrazen blokový diagram znázorňující samotné propojení jednotlivých komponent navržené NFC čtečky.

Jádrem celého obvodu je modul ESP32-WROOM-32D, který bude zajišťovat běh námi později navrženého programu.

Napájení celého obvodu nám zprostředkovávají POE MODUL obsahující DC měnič, který nám převádí napětí z POE PSE 44-55 V na 5 V, a 3V3 POWER SUPPLY, který nám převádí 5 V na potřebných 3,3 V.

Blok s názvem Ethernet obsahuje čip W5500, jenž zprostředkovává komunikaci přes Ethernet.

Dále je zde obvod potřebný pro funkci antény, signalizační RGB LE diody a dotykový senzor.



Obrázek 6.1 Blokový diagram univerzálního NFC

## 6.2 Esp32

Modul ESP32-WROOM-32D je hlavní částí celého obvodu. Jádrem tohoto modulu je čip ESP32-D0WD obsahující dvě CPU, která lze individuálně ovládat a jejich frekvence je nastavitelná od 80 MHz do 240MHz.

Tento modul také disponuje bohatou sadou periferií od kapacitních dotykových senzorů, Hallových senzorů, rozhraním pro SD karty, SPI, UART, I2C až po Bluetooth, Bluetooth LE (BLE) a Wi-Fi, což nám zajišťuje všestranné použití. [18]

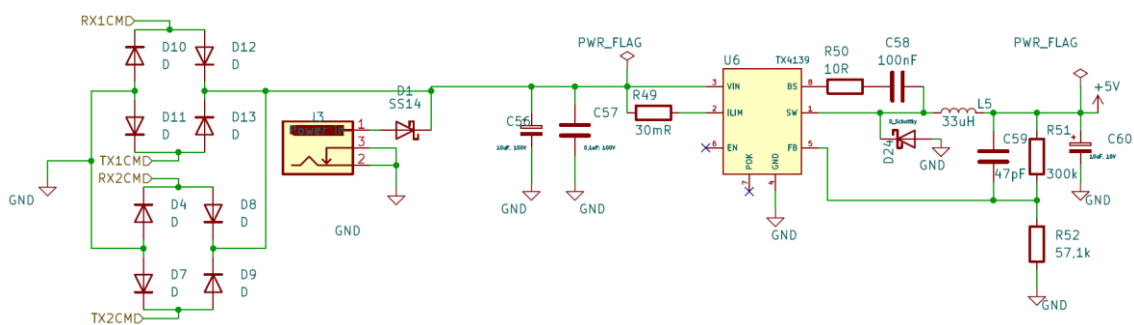
Modul můžeme vidět na obrázku 6.2.



Obrázek 6.2 ESP32-WROOM-32D [19]

## 6.3 PoE

Díky nedostatku čipů od firmy Silicon Labs pro správu napájení pomocí PoE byl vybrán čip TX4139, který funguje jako DC měnič. U tohoto čipu se může na vstup přivést až 75 V, které vzápětí převede na požadovaných 5 V, přičemž může být nepřetržitě odebírán proud až 2 A.



Obrázek 6.3 Schéma zapojení čipu TX4139

Na začátku obvodu jsou diodové můstky pro určení správné polaroty stejnosměrného napětí z části PoE PSE.

Samotný čip TX4139 má 8 pinů. VIN je napájecí pin čipu, pracuje od +4,5 V do +75 V, kondenzátor před vstupem slouží jako ochrana před skokovým napětím. ILIM je programovatelný pin s citlivým rezistorem, který nám podle vstupního napětí určí maximální možný proud na výstupním pinu SW. Na pin FB je připojen odporový dělič, kterým se nastavuje výstupní napětí. Když je napětí na tomto pinu menší jak 250 mV snižuje se frekvence oscilátoru, z důvodu zabránění zkratu v obvodu. [20]

Zapojení čipu TX4139 (obrázek 6.3) pro funkci PoE (převodu napětí z max. 57 V na 5 V) bylo nalezeno v datasheetu [30] daného čipu. Většina součástek v tomto obvodu má pro správnou funkci celého obvodu svou hodnotu pevně danou. Bylo nutné zvolit jen odpor R49, kterým se nastavuje výstupní proud. Podle datasheetu je možné zvolit 3 varianty. Do obvodu byl zvolen odpor 30 mΩ kvůli možnému výstupnímu proudu 2 A.

Tabulka 6.1 Nastavení max. výstupního proudu

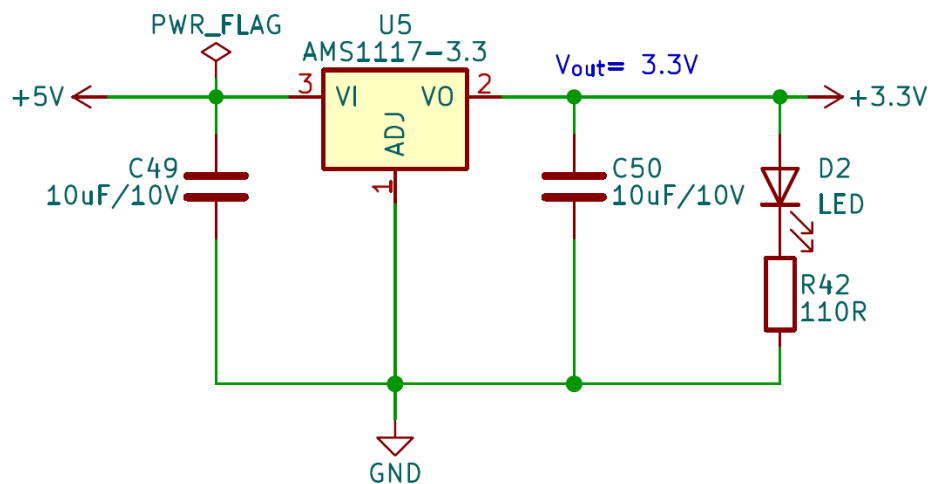
Odpor [mΩ]	Maximální výstupní proud [A]
50	0,8
40	1,0
30	2,0

Dále bylo třeba už jen zvolit odpor R52, kterým se nastaví výstupní napětí obvodu. Tento odpor byl zvolen podle vzorce:

$$R_{52} = \frac{R_{51}}{\frac{U_{OUT}}{0,805} - 1} = \frac{300000}{\frac{5}{0,805} - 1} = 57,5685 \text{ k}\Omega \quad (6.1)$$

## 6.4 3v3 Power supply

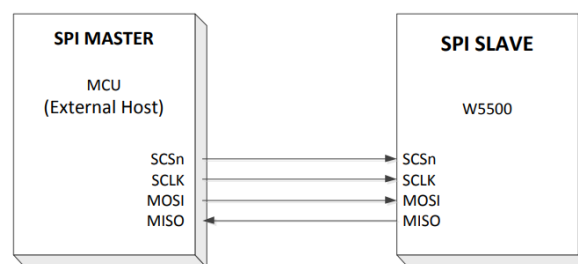
Pro tuto část obvodu byl vybrán regulátor AMS1117, který nám napětí +5 V převádí na napětí +3,3 V, které je potřebné pro napájení čipů v obvodu. Schéma zapojení můžeme vidět na obrázku 6.4



Obrázek 6.4 Schéma zapojení regulátoru AMS1117

## 6.5 Ethernet

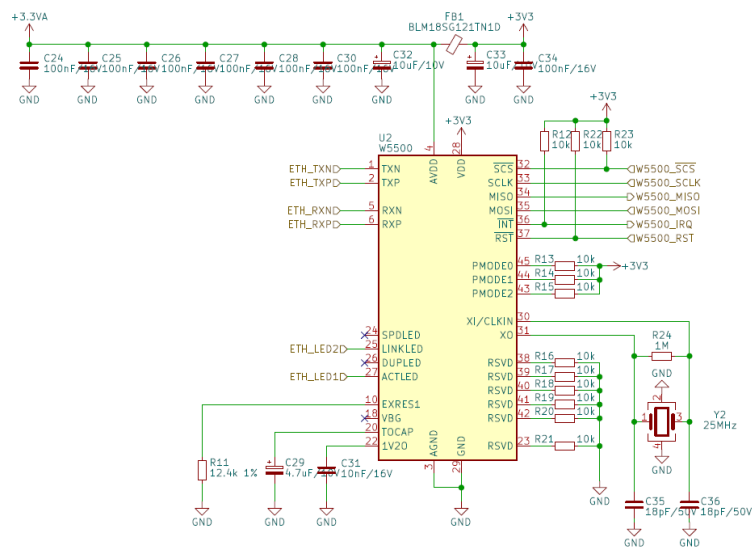
Pro komunikaci přes Ethernet byl zvolen čip W5500 od firmy WIZnet. Je to Ethernetový řadič s pevným připojením TCP/IP, který poskytuje snazší internetové připojení k vestavěným systémům. Obsahuje 32 kbyte vnitřní vyrovnávací paměť pro zpracování ethernetových packetů. Podporuje rychlosti vykonávání operací podle standardů 10BASET/100BASE-TX (10 Mb/s a 100 Mb/s). Je zde k dispozici SPI (Seriál Peripheral Interface) pro snadnou integraci s externím MCU (zapojení můžeme vidět na obrázku 6.5) podporující rychlost 80 MHz a nový protokol SPI pro vysokorychlostní komunikaci. [21]



Obrázek 6.5 Propojení čipu W5500 s MCU [22]

Celé schéma zapojení čipu můžeme vidět na obrázku 6.6. Piny 32 až 37 slouží pro propojení s hlavním čipem ESP32. Piny 1-2 a 5-6 jsou párové vodiče z konektoru RJ-45 pro přenos dat. Kondenzátory zde slouží jako ochrana pinů připojený na 3,3 V před skokovou změnou napětí.

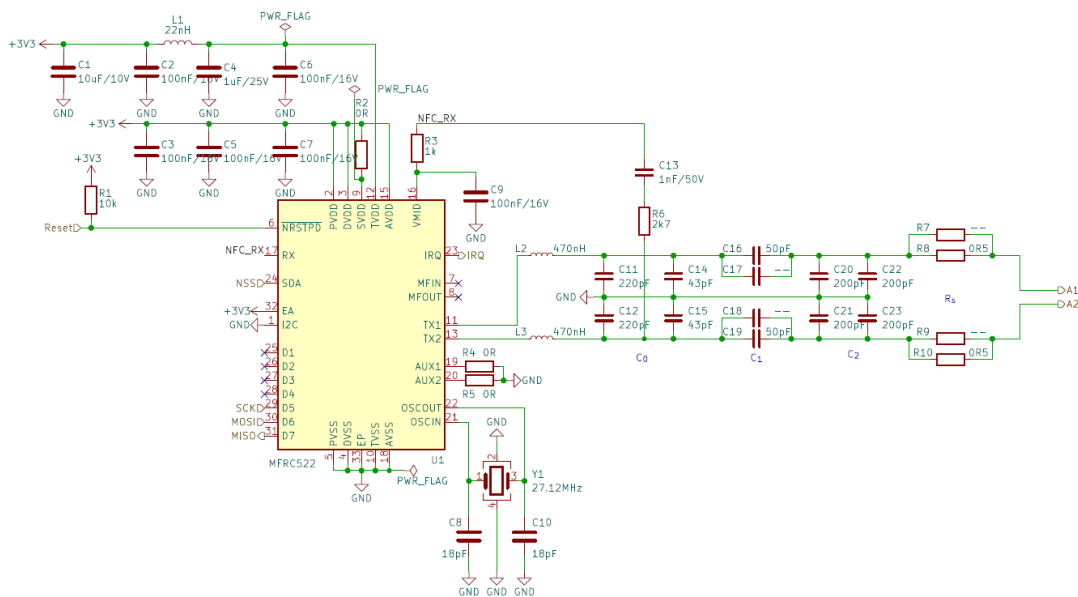




Obrázek 6.6 Schéma zapojení čipu W5500

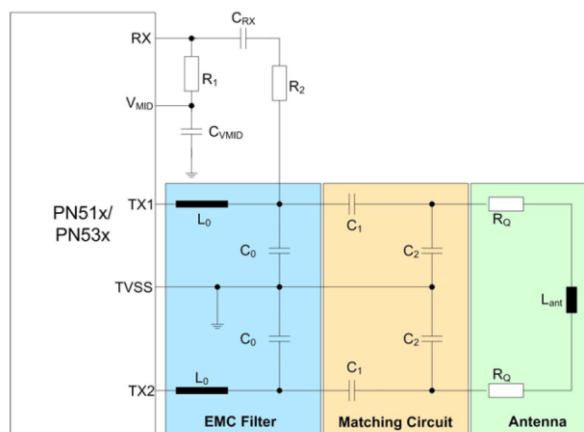
## 6.6 NFC Frontend

Pro fungování navržené NFC antény byl vybrán čip MFRC522 sloužící pro čtení či zapisování u bezkontaktní komunikace při frekvenci 13,56 MHz. Tento čip je schopen řídit čtecí/zapisovací anténu navrženou pro komunikaci s kartami a transpondéry standardu ISO/IEC 14443, poskytuje efektivní implementaci pro demodulaci a dekódování karet a transpondérů daného standardu a spravuje kompletní funkce rámování a detekce errorů standardu ISO/IEC 14443 A. [23]



Obrázek 6.7 Schéma zapojení části NFC Frontend

V zapojení na obrázku 6.7 můžeme znovu vidět kondenzátory sloužící jako ochrana pinů před skokovou změnou napětí. Obvod v pravé části obrázku, připojený k pinům 11, 13 a 16 je zde pro správnou funkci antény, takže aby anténa správně fungovala bylo zapotřebí vypočítat hodnoty součástek části obvodu EMC filter a Matching Circuit, které je možné vidět na obrázku 6.8.



Obrázek 6.8 RF obvod pro správnou funkci antény [29]

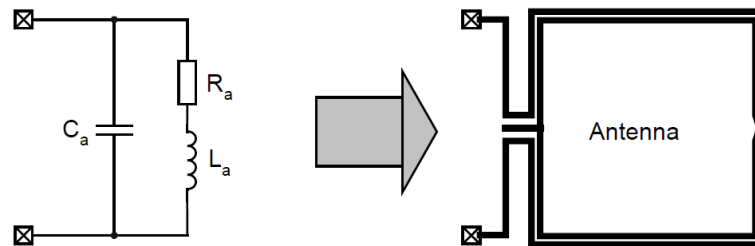
Hodnoty součástek pro správnou funkci navržené antény byly vypočteny za pomoci programu NFC Antenna tool od firmy NXP, který nám ze zadaných parametrů antény vypočítal odpor, kapacitu a indukčnost antény, a za pomoci PDF návodu pro návrh obvodu pro správnou funkci NFC antény k čipu MFRC522 s názvem AN1445, také od firmy NXP.

Dosazené hodnoty pro výpočet parametrů navrhované antény jsou sepsány v tabulce 6.2. Většina zadaných parametrů byla doporučena v datasheetu zabývajícím se návrhem NFC antény. Jen Additional Overlap area (oblast překrytí) byla vypočítána jako celkový obsah plochy vodičů přecházejících přes anténu.

Tabulka 6.2 Dosazené hodnoty do programu NFC Antenna tool

Lenght (amax)	31 mm
Width (bmax)	31 mm
Track width	1 mm
Gap between tracks	0,5 mm
Additional Overlap area	16,24 mm <sup>2</sup>
Track Thickness	35 um
Number of turns	3
Turn Exponent	1,75
PCB Thickness	1,6 mm
$\epsilon_r$	4,6
Q	35
Target Impedance	50 $\Omega$
fEMC cut off	14300 Hz
L0	470 nH

Program NFC Antenna tool nám ze zadaných hodnot vypočítal hodnoty (6.2) sériového zapojení náhradního schématu navrhované antény. Z těchto hodnot byl poté vypočten quality factor (6.3). Vše bylo počítáno při frekvenci 13,56 MHz.



Obrázek 6.9 Sériové zapojení náhradního obvodu navrhované antény [29]

$$\begin{aligned}
 L_a &= 617 \text{ nH} \\
 C_a &= 1,8 \text{ pF} \\
 R_a &= 0,53 \text{ } \Omega
 \end{aligned}
 \tag{6.2}$$

$$Q_a = \frac{\omega * L_a}{R_a} = \frac{2 * \pi * 13,56 * 10^6 * 617 * 10^{-9}}{0,53} = 99,1857
 \tag{6.3}$$

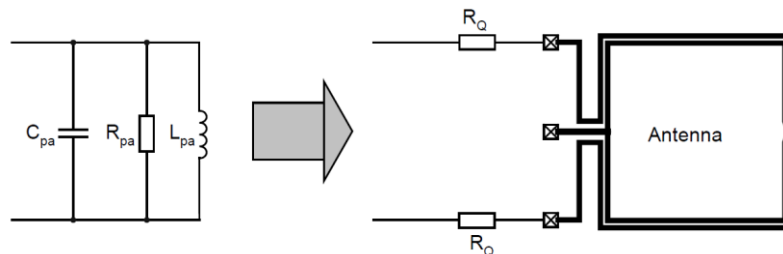
Pokud vyjde quality factor větší než 35, je zapotřebí před navrhovanou anténou k oběma jejím vývodům připojit dodatečné tlumící odpory  $R_q$ , které sníží výsledný quality factor na požadovanou hodnotu  $35 \pm 10 \%$ . Tlumící rezistor  $R_q$  vypočteme podle rovnice (6.4).

$$\begin{aligned} R_Q &= 0,5 * \left( \frac{\omega * L_a}{35} - R_a \right) \\ &= 0,5 * \left( \frac{2 * \pi * 13,56 * 10^6 * 617 * 10^{-9}}{35} - 0,53 \right) \\ &= 0,4860 \Omega \end{aligned} \quad (6.4)$$

Po přidání dodatečného tlumícího rezistoru je zapotřebí ověřit, zdali se quality factor opravdu snížil na požadovanou hodnotu. To je provedeno pomocí vzorce (6.5).

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{\omega * L_a}{R_a + 2 * R_q} = \frac{2 * \pi * 13,56 * 10^6 * 617 * 10^{-9}}{0,53 + 2 * 0,48598} \\ &= 34,9999 \end{aligned} \quad (6.5)$$

Pro další výpočty je zapotřebí přepočítat sériové zapojení náhradního schématu navržené antény na paralelní zapojení (6.6).



Obrázek 6.10 Paralelní zapojení náhradního obvodu navrhované antény [29]

$$\begin{aligned} L_{pa} &\hat{=} L_a = 617 \text{ nH} \\ C_{pa} &\hat{=} C_a = 1,8 \text{ pF} \\ R_{pa} &\hat{=} \frac{(\omega * L_a)^2}{R_a + 2 * R_Q} = \frac{(2 * \pi * 13,56 * 10^6 * 617 * 10^{-9})^2}{0,53 + 2 * 0,48598} \\ &= 1839,8867 \Omega \end{aligned} \quad (6.6)$$

Dále je zapotřebí vybrat cívky  $L_0$ , jejichž hodnota má být v rozmezí od 390 nH do 1  $\mu$ H, a určit si rezonanční frekvenci EMC filtru  $f_{r0}$ , která se má pohybovat od 14,1 MHz do 14,5 MHz. Do navrhovaného obvodu byly vybrány cívky s indukčností 470 nH a pro frekvenci  $f_{r0}$  byla zvolena hodnota 14,3 MHz.

$$\begin{aligned}
 L_0 &= 470 \text{ nH} \\
 f_{r0} &= 14,3 \text{ MHz} \\
 R_{match} &= 50 \Omega \\
 \omega &= 2 * \pi * 14,3 * 10^6 = 89,8 * 10^6
 \end{aligned}
 \tag{6.7}$$

Po vybrání cívek  $L_0$  a určení frekvence EMC filtru je možné spočítat kapacitu kondenzátoru  $C_0$ .

$$\begin{aligned}
 C_0 &= \frac{1}{(2 * \pi * f_{r0})^2 * L_0} = \frac{1}{(2 * \pi * 470 * 10^6)^2 * 470 * 10^{-9}} \\
 &= 2,635544 * 10^{-10} = 263,5544 \text{ pF}
 \end{aligned}
 \tag{6.8}$$

Pro výpočet kondenzátorů  $C_1$  a  $C_2$  ve srovnávacím obvodu (Matching circuit) je zapotřebí nejdříve vypočítat impedanci  $R_{tr}$  (6.9) a reaktanci  $X_{tr}$  (6.10), k čemuž je nutné určit si impedanci  $R_{match}$ . Impedance  $R_{match}$  je celková impedance obvodu zapojeného mezi piny TX1 a TX2. V datasheetech bylo doporučeno zvolit hodnotu  $R_{match}$  50  $\Omega$ .

$$\begin{aligned}
 R_{tr} &= \frac{R_{match}}{(1 - \omega^2 * L_0 * C_0)^2 + \left(\omega * \frac{R_{match}}{2} * C_0\right)^2} \\
 &= 143,2654 \Omega
 \end{aligned}
 \tag{6.9}$$

$$\begin{aligned}
 X_{tr} &= 2 * \omega * \frac{L_0 * (1 - \omega^2 * L_0 * C_0) - \frac{R_{match}^2}{4} * C_0}{(1 - \omega^2 * L_0 * C_0)^2 + \left(\omega * \frac{R_{match}}{2} * C_0\right)^2} \\
 &= 0,5091 \Omega
 \end{aligned}
 \tag{6.10}$$

Po vypočtení impedance  $R_{tr}$  a reaktance  $X_{tr}$  je možné vypočítat hodnoty zbylých dvou kondenzátorů  $C_1$  (6.11) a  $C_2$  (6.12).

$$C_1 = \frac{1}{\omega * \left( \sqrt{\frac{R_{tr} * R_{pa}}{4}} + \frac{X_{tr}}{2} \right)} = 4,331293 * 10^{-11} \\ = 43,3129 \text{ pF} \quad (6.11)$$

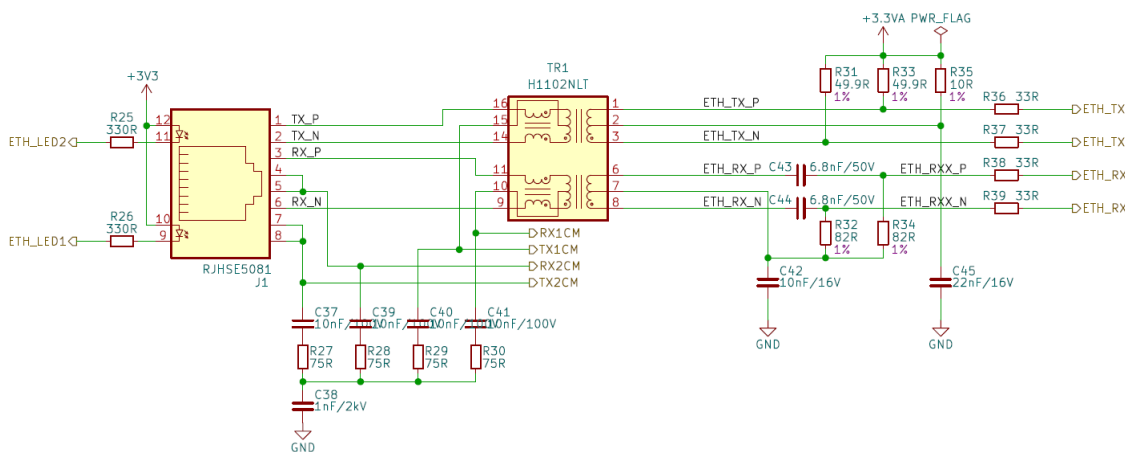
$$C_2 = \frac{1}{\omega^2 * \frac{L_{pa}}{2}} - \frac{1}{\omega * \sqrt{\frac{R_{tr} * R_{pa}}{4}}} - 2 * C_{pa} \\ = 3,581695 * 10^{-10} = 358,1695 \text{ pF} \quad (6.12)$$

Po celkovém výpočtu hodnot pro správnou funkci navržené antény byly výsledky ověřeny v programu NFC Antenna tool, v němž výsledné hodnoty jednotlivých součástek vyšly přibližně stejně. Na závěr byly na stránkách JLCPCB vyhledány součástky s takovými hodnotami, aby co nejvíce odpovídaly vypočteným hodnotám. Obvod s použitými součástkami je na obrázku (6.7).

Veškeré informace pro tuto kapitolu byly brány zde [29].

## 6.7 Ethernet connector

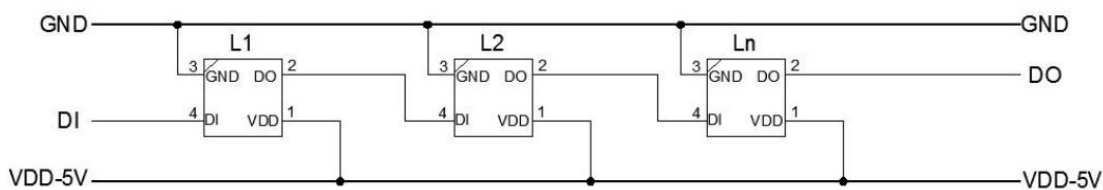
Konektor RJ-45 je zapojen podle režimu B, který byl popsán v kapitole 4.1 Zapojení PoE. Přes páry vodičů 1-2 a 3-6 jsou přenášena data až do čipu W5500. Páry vodičů 4-5 a 7-8 jsou využity pro napájení.



Obrázek 6.11 Schéma zapojení konektoru RJ-45

## 6.8 Signalizace

K signalizaci vykonaného programu budou použity dvě RGB LE diody typu WS2812B obsahující 3 mikročipy, schopné emitovat světlo (R, G, B), a řadič, díky kterému jsme schopni individuálně adresovat jednotlivé LED čipy. Tyto řadiče také zpracovávají 24bitový signál procházející přes LED vstupním pinem DI a výstupním pinem DO. Tento signál odpovídá 24bitovým světelným složkám R, G, B, ze kterých si na vstupu každý čip odebere svých 24 bitů a výstupem pošle signál dál. Díky tomuto se tento typ LED využívá převážně u LED pásků.



Obrázek 6.12 Zapojení LED

Tabulka 6.3 Složení 24bitových dat

G7 – G0	R7 – R0	B7 – B0
---------	---------	---------

Informace, obrázek a tabulka pro tuto podkapitolu byly brány zde: [25]

## 7. REALIZACE - HARDWARE

Návrh elektrického schématu i DPS probíhá v prostředí KiCad 6.0. S tímto programem jsem se musel ze začátku lehce seznámit, ale prostředí je velmi intuitivní a je zde i možnost nastavení českého jazyka, takže i pro nováčka je docela snadné se v programu zorientovat. Jako velkou výhodou tohoto programu považuji 3D náhled na navrženou desku plošných spojů, kde se dá velmi dobře podívat na to, jak bude přibližně deska vypadat po vyrobení.

Při vytváření elektrického schématu se postupovalo zejména podle doporučených zapojení z datasheetu jednotlivých použitých čipů zmíněných výše. Pro realizaci celé desky byly vybrány smd součástky z důvodu malých rozměrů a oboustranná deska plošných spojů pro snazší realizaci obvodu vybraných součástek.

Jako dotykové čidlo byla použita část měděné plochy na DPS, tato plocha je poté připojena k jednomu z pinů čipu ESP32, který umožňuje měření kapacity. Tímto způsobem bude tedy možné rozpoznat, zda je na DPS něco položené.

Před RGB LE diody je připojen tranzistor pro možné ovládní 5V logiky těchto diod pomocí 3.3V pinu na čipu ESP32.

### 7.1 Návrh DPS

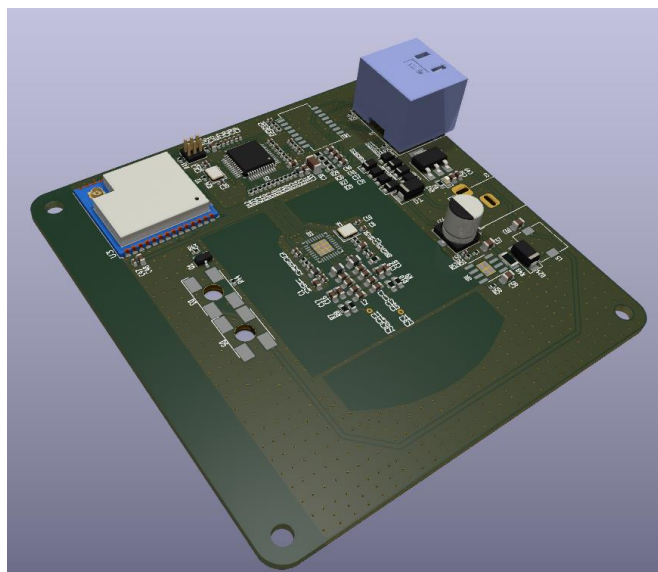
V prvním kroku při návrhu DPS bylo potřeba si stanovit rozměry celé desky plošných spojů. Ty byly určeny už v kapitole 1.1.1, přičemž anténa nesmí přesáhnout rozměry 100x100 mm. Tento bod byl splněn, konečný návrh NFC antény má rozměry 80x80 mm.

Dále bylo zapotřebí, aspoň orientačně, zvolit šířku měděných cest z důvodu možného výrazného ohřátí při proudové zátěži, u kterého by mohlo dojít k velkému pnutí a záhy k poničení desky. Minimální potřebná šířka byla vypočítána v online programu (<http://circuitcalculator.com/wordpress/?p=25/%3E>), do kterého byly zadány parametry, (viz tabulka 7.1). Pro zadané hodnoty vyšla požadovaná minimální šířka spoje 0,197 mm. Z tohoto výsledku byla zvolena nejmenší cesta s šířkou 3 mm, což by měla být dostatečná rezerva a šířka cest pro napájení s šířkou 6 mm. Ale nejlepšího rozvodu proudu, odvodu tepla a nízkého elektrického odporu bylo dosaženo pomocí rozlité mědi zemnicích ploch, které jsou navíc prokovené z důvodu zabránění vzniku parazitní kapacity. Toho je možné si všimnout na 3D modelu (obrázek 7.1).

Tabulka 7.1 Hodnoty pro výpočet šířky měděné cesty

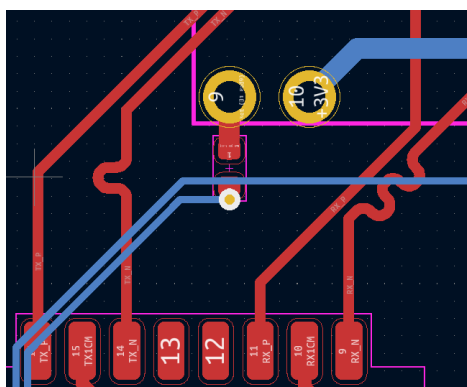
Proud	0,5 A
Tloušťka mědi	0,035 mm
Teplota okolí	30 °C
Vzrůst teploty	20 °C





Obrázek 7.1 3D model navržené NFC antény

Pro dodržení stálé vzájemné elektrické vlastnosti datových párů RX\_P/RX\_N a TX\_P/TX\_N byla použita funkce pro doladění délky vodičů, díky které je dodržena stejná délka datových vodičů v rámci jednoho páru. To je ukázáno na obrázku 7.2.



Obrázek 7.2 Využití funkce pro doladění délky vodičů

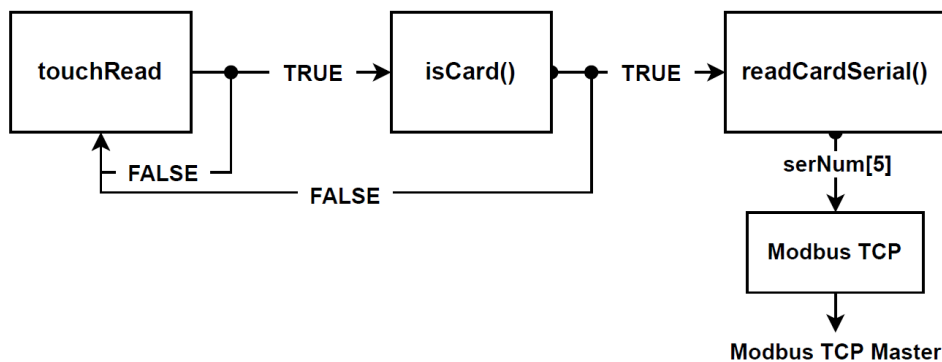
Pro případ nefunkčnosti PoE je do obvodu přidána možnost přidat zásuvku PC-GK2.1 pro možné napájení z adaptéru. Toho je možné si všimnout na obrázku 7.1 (volný prostor vedle ethernetové zásuvky).

## 8. REALIZACE – SOFTWARE

V této kapitole bude stručně popsána funkce celého programu, který byl psán v programu Visual Studio Code s rozšířením PlatformIO IDE.

Celý program funguje tak, že je kontrolována změna na kapacitním senzoru, pokud hodnota klesne, znamená to, že byl zaznamenán dotek, a program přejde do hledání NFC tagu v okolí. Poté, co navržená anténa zaznamená NFC tag, přečte z něj informace, jež uloží do pole a vzápětí vypíše do terminálu pro kontrolu. Vše je také signalizováno RGB LED, kdy:

- červená barva znamená: žádný dotyk, NFC anténa je v režimu spánku
- modrá barva znamená: dotyk zaznamenán, anténa hledá NFC tagy v okolí
- zelená barva znamená: anténa přečetla informace z NFC tagu



Obrázek 8.1 Blokový diagram navržené NFC antény

### 8.1 Knihovny

Zde jsou vypsány všechny knihovny, které byly v programu použity. Knihovna SPI.h slouží pro komunikaci po sériové lince mezi čipem ESP32 a MFRC522. Díky knihovně RFID.h jsem schopen pomocí navržené NFC antény číst informace z NFC tagů a pomocí Adafruit\_NeoPixel.h ovládat RGB LE Diody WS2812.

```
#include <SPI.h>
#include <RFID.h>
#include <Adafruit_NeoPixel.h>
```

## 8.2 Čtení dat z čipů

Pro čtení karet bylo nejdříve zapotřebí s pomocí knihovny RFID definovat připojení pinu SDA, který je připojen na vývod 15 a pinu RST, jenž je připojen k vývodu 25. Poté bylo zapotřebí nadefinovat, kolika bajtové bude pole, do kterého se budou zapisovat informace z NFC tagu.

```
RFID rfid(15,25); //IO15--SDA, IO25--RST
unsigned char serNum[5];
```

Ve funkci *setup* je třeba inicializovat komunikaci po sériové lince s rychlostí 115200 baud, aby bylo možné zkontrolovat přečtené informace z NFC tagu a naměřenou hodnotu na kapacitním senzoru, inicializovat komunikaci SPI a komunikaci s NFC čtečkou (RFID).

```
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  SPI.begin();
  rfid.init();
}
```

Ve funkci *loop* je poté zapotřebí kontrola karet v okolí (fce. *isCard()*), která při úspěchu vrací *true*. Následně je nutná kontrola správného přečtení NFC tagu (fce. *readCardSerial()*). Tato funkce vrací informace z karty uložené v poli *serNum*. Po vypsání informací přečtených z NFC tagu a převedených do šestnáctkové soustavy přejde karta pomocí funkce *halt()* do režimu spánku.

```
rfid.isCard();

if (rfid.readCardSerial())
{
  Serial.print("The card's number is : ");
  Serial.print(rfid.serNum[0], HEX);
  Serial.print(rfid.serNum[1], HEX);
  Serial.print(rfid.serNum[2], HEX);
  Serial.print(rfid.serNum[3], HEX);
  Serial.print(rfid.serNum[4], HEX);
  Serial.println(" ");
  updateColors();
}
rfid.halt();
```

## 8.3 Komunikace

Načtená data z NFC tagu jsou uložena v Holding registrech navržené NFC antény. Pro vyčtení dat z Holding registrů pošle navržená čtečka požadavek (*request*) serveru o čtení holding registrů. Poté co server obdrží požadavek, vyšle anténě odpověď (*response*) pro přečtení načtených dat.

Tabulka 8.1 Data uložená v Holding registrech

Adresa	Název	Popis
0	karta	Sledování přítomnosti karty - 0 nebo 1
1	serNum[0]	Prvních 16-bitů načtených z NFC tagu
2	serNum[1]	Druhých 16-bitů načtených z NFC tagu
3	serNum[2]	Třetích 16-bitů načtených z NFC tagu
4	serNum[3]	Čtvrtých 16-bitů načtených z NFC tagu
5	serNum[4]	Pátých 16-bitů načtených z NFC tagu

Tabulka 8.2 Obecná data požadavku a odpovědi

MBPA Header	Transaction ID	2 bajty
	Protokol ID	00 00
	Length	2 bajty
	Unit ID	1 bajt
PDU	Kód funkce	03
	Data	N-bajtů

## 8.4 Dotykový senzor

Pro kontrolu dotykového čidla postačí tento příkaz:

```
touchRead(32);
```

Z pinu 32 by poté měla být vyčítána hodnota 0 až 100. Při kontrole ve výpisu na sériové lince, když byla deska bez jakéhokoliv dotyku, vypisoval pin hodnotu okolo 32, po dotyku na kapacitní senzor se hodnota snížila pod 30 (velikost snížení hodnoty na pinu je ovlivněna materiálem, kterým se dotýkáme kapacitního senzoru).

## 8.5 Signalizace

Pro signalizaci pomocí RGB LED bylo zapotřebí nejdříve definovat, že jsou připojené na pinu 27 a že jsou dvě. Poté je zavolána funkce *clear()*, která nastaví diody na 0, a funkce *show()*, která rozsvítí LE diody podle toho, jak jsou nastaveny v *setPixelColor()*.

```
#define STRIP_2_PIN    27 // pin ke kterému jsou RGB LED připojeny
#define LED_COUNT    2 // počet LED
Adafruit_NeoPixel strip1(LED_COUNT, STRIP_2_PIN, NEO_GRB + NEO_KHZ800);
```

```
void updateColors() {
    strip1.clear();
    strip1.setPixelColor(0, strip1.Color(0, 100, 0));
    strip1.setPixelColor(1, strip1.Color(0, 100, 0));
    strip1.show();
    delay(1000);
}
```

## 9. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se s principy a standardy NFC čteček dostupnými na trhu, z toho definovat požadavky na návrh NFC čtečky a následně navrhnout a realizovat funkční NFC čtečku.

Požadavky na NFC čtečku byly definovány hned ze začátku, poté následovalo seznámení s principy, standardy a samotným významem NFC čtečky. Dále byla popsána a podrobněji rozebrána technologie PoE a Ethernet, které navržená čtečka také využívá. To bylo celé zakončené celkovým průzkumem trhu a porovnáním nalezených čteček s navrhovanou čtečkou. U průzkumu trhu jsem se snažil vyhledat volně dostupné NFC čtečky s parametry podobajícími se navrhované čtečce. Načež bylo zjištěno, že NFC čteček podporujících PoE, odpovídajících našim rozměrům a dalším požadavkům je velmi málo druhů. Spíše se prodávají stolní čtečky využívající propojení pomocí USB portu bez možnosti jakékoli montáže k jinému zařízení. Čtečky podobné našim požadavkům jsou vyráběny spíše firmami na zakázku. Ty jsem do průzkumu trhu nezahrnul, jelikož je pro získání více informací (přesnějších parametrů a cen) potřebná komunikace s danou firmou.

V další části jsem popsal způsob výběru jednotlivých součástek, jejich vlastnosti a návrh celé desky plošných spojů. U návrhu DPS nastal problém se vzniklým nedostatkem čipů na trhu, které jsem musel poté nahradit čipy zmíněnými v kapitole 7. Po návrhu a následném vyrobění byla deska proměřena a odzkoušena, zdali vše funguje, načež bylo zjištěno, že deska byla dodána s vadným tranzistorem pro řízení RGB LED. Zde bylo ale zjištěno, že RGB LED diody dokáže ovládat i samotný pin bez tranzistoru, takže stačilo tranzistor odpájet a LED spojit s ovládacím pinem. Vše ostatní bylo ověřeno, že splňuje svou funkci.

V poslední části popisují navržený program pro správnou funkci NFC čtečky v programu Visual Studio Code. Čtečka tedy dokáže číst NFC tagy a rozpoznat, zdali na ni bylo něco položeno. Vše je navíc signalizováno RGB LED. Komunikace byla otestována na kitu ESP32 s možností připojení k ethernetu.

Možnost ukládání a následného vyčítání dat z Holding registrů by se dala do budoucna využít pro rozšíření funkcí. Například možnost nastavování barev RGB LED v jednotlivých stavech programu nebo nastavení citlivosti dotykového čidla. Díky tomu si myslím, že by tato čtečka dokázala obstojně zaujmout své místo ve školním průmyslovém automatu nazývaném „Samo-činný barman“ a mohla by dobře posloužit do budoucna jako zdroj informací při návrhu dalších nových zařízení využívajících technologii NFC nebo PoE.

## Literatura

- [1] Wikipedie. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Near\\_Field\\_Communication](https://cs.wikipedia.org/wiki/Near_Field_Communication)
- [2] NFC Forum. NFC Forum [online]. Wakefield: NFC Forum, 2019 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://nfc-forum.org/what-is-nfc/about-the-technology/>
- [3] NFC Data Exchange Format. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/NFC\\_Data\\_Exchange\\_Format](https://cs.wikipedia.org/wiki/NFC_Data_Exchange_Format)
- [4] TN1216 Technical note: ST25 NFC guide. [online], 2016, [cit. 8.12.2019]. URL: [https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/technical\\_note/f9/a8/5a/0f/61/bf/42/29/DM00190233.pdf/files/DM00190233.pdf/jcr:content/translatio ns/en.DM00190233.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/technical_note/f9/a8/5a/0f/61/bf/42/29/DM00190233.pdf/files/DM00190233.pdf/jcr:content/translatio ns/en.DM00190233.pdf)
- [5] Individuální transpondéry RFID a NFC. Smart-TEC [online]. Oberhaching: DACHCOM, © 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.smart-tec.com/cs/auto-id-svet/technologie-rfid>
- [6] RFID versus NFC. Co bylo první a ... co je lepší? Kodys [online]. Praha: Váňa, Copyright © KODYS, spol. s r.o. [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://www.kodys.cz/o-nas/blog/rfid-vs-nfc>
- [7] Simple NDEF Exchange Protocol. Nfcpy [online]. Tiedemann, © 2009 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://nfcpy.readthedocs.io/en/latest/topics/snep.html>
- [8] ISO/IEC 14443. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC\\_14443](https://cs.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_14443)
- [9] ISO/IEC 15693. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC\\_15693](https://cs.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_15693)
- [10] Jis x 6319-4 [online]. Japanese: Japanese Standards Association, 2005 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <http://www.proxmark.org/files/Documents/13.56%20MHz%20-%20FeliCa/JIS.X.6319-4.Sony.Felica.pdf>
- [11] Co je to Ethernet? - IT Slovník. It-slovník [online]. IT-Slovník.cz team [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://it-slovník.cz/pojem/ethernet>
- [12] Ethernet. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ethernet>
- [13] Power over Ethernet. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Power\\_over\\_Ethernet](https://cs.wikipedia.org/wiki/Power_over_Ethernet)
- [14] Figure 2: Power over Ethernet Alternative B. SmartWorx [online]. Oranmore: SmartWorx, ©2018 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://www.bb->

- elec.com/Learning-Center/All-White-Papers/Ethernet/Power-over-Ethernet-PoE.aspx
- [15] RJ45/1.8-GREY. Shopdelta [online]. Poznań: Monitoring-Delta, 2002 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: [https://shopdelta.eu/patchcord-rj451-8-grey-1-8-m\\_18\\_p5058.html](https://shopdelta.eu/patchcord-rj451-8-grey-1-8-m_18_p5058.html)
- [16] Princip činnosti Power Over Ethernet [online]. HW server, © 1997 - 2022 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/produkty/ethernet/princip-cinnosti-power-over-ethernet.html>
- [17] Figure 1: Power over Ethernet Alternative A. SmartWorx [online]. Oranmore: SmartWorx, ©2018 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://www.bb-elec.com/Learning-Center/All-White-Papers/Ethernet/Power-over-Ethernet-PoE.aspx>
- [18] ESP32-WROOM-32D & ESP32-WROOM-32U Datasheet [online]. Espressif, Copyright © 2019 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: [https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1912300803\\_Espressif-Systems-ESP32-WROOM-32D\\_C473012.pdf](https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1912300803_Espressif-Systems-ESP32-WROOM-32D_C473012.pdf)
- [19] ESP32-WROOM ESP32-WROOM-32D Wi-Fi+BT+BLE ESP32 Module 32Mbits 4MB Flash Memory Espressif Original. Alibaba [online]. Alibaba.com, © 1999-2021 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: [https://www.alibaba.com/product-detail/ESP32-WROOM-ESP32-WROOM-32D-Wi\\_62088674475.html](https://www.alibaba.com/product-detail/ESP32-WROOM-ESP32-WROOM-32D-Wi_62088674475.html)
- [20] TX4139 [online]. Shenzhen Xindingsheng Technology Co., © 2016 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: [https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1811141153\\_XDS-TX4139\\_C329266.pdf](https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1811141153_XDS-TX4139_C329266.pdf)
- [21] W5500 Datasheet. WIZnet [online]. WIZnet, © 2013 [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: [https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1811131221\\_WIZNET-W5500\\_C32843.pdf](https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1811131221_WIZNET-W5500_C32843.pdf)
- [22] Figure 4. Variable Length Data Mode (SCSn controlled by the host). WIZnet [online]. Wiznet, © 2013 [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: [https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1811131221\\_WIZNET-W5500\\_C32843.pdf](https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1811131221_WIZNET-W5500_C32843.pdf)
- [23] MFRC522 [online]. NXP Semiconductors, 2014 [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: [https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1810141112\\_NXP-Semicon-MFRC52202HN1,151\\_C11322.pdf](https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1810141112_NXP-Semicon-MFRC52202HN1,151_C11322.pdf)
- [24] RF reader ic chip rc522 rfid mfrc522 MFRC52202HN1 HVQFN32. Alibaba [online]. Alibaba.com, © 1999-2021 [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: [https://www.alibaba.com/product-detail/RF-reader-ic-chip-rc522-rfid\\_60297832062.html](https://www.alibaba.com/product-detail/RF-reader-ic-chip-rc522-rfid_60297832062.html)
- [25] WS2812B. World-semi [online]. DongGuan: Worldsemi, © 2007 [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: [https://datasheet.lcsc.com/lcsc/2106062036\\_Worldsemi-WS2812B-B-W\\_C2761795.pdf](https://datasheet.lcsc.com/lcsc/2106062036_Worldsemi-WS2812B-B-W_C2761795.pdf)
- [26] Ubiquiti UA-Lite UniFi Access Reader Lite - NFC, BT, PoE. Czc.cz [online]. czc.cz, 2020 [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: <https://www.czc.cz/ubiquiti-ua-lite-unifi-access-reader-lite-nfc-bt-poe/303929/produkt>



- [27] ACS ACR1255U-J1. Mironet.cz [online]. Mironet [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: <https://www.mironet.cz/acs-acr1255uj1-bezkontakti-nfc-ctecka-bt-40-bila+dp339093/?fbclid=IwAR1qjmkZGMmichpC7E52alDbNDDZRM1j4sJHmPZFZCBdoIvJG8e6erGzQ24>
- [28] ACS ACR1251 USB Black NFC II. Mironet.cz [online]. Mironet [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: [https://www.mironet.cz/acs-acr1251-usb-black-nfc-ii-ctecka-nfc-mifare-felica-iso-18092-tagy-c-sam-iso-7816-cerna+dp339092/?gclid=Cj0KCQiA5aWOBhDMARIsAIXLlk\\_ekwnuk0V13WiE1R7Q7wba7Uy7ZFxUcbIMB81uYeCzece4wo3nt4aAg3GEALw\\_wcB&fbclid=IwAR3qWuN4EdETNulQ2dolFzl9BTSvJLIj7EC2nG0d92R9UCGy5XnoRtuWWVk](https://www.mironet.cz/acs-acr1251-usb-black-nfc-ii-ctecka-nfc-mifare-felica-iso-18092-tagy-c-sam-iso-7816-cerna+dp339092/?gclid=Cj0KCQiA5aWOBhDMARIsAIXLlk_ekwnuk0V13WiE1R7Q7wba7Uy7ZFxUcbIMB81uYeCzece4wo3nt4aAg3GEALw_wcB&fbclid=IwAR3qWuN4EdETNulQ2dolFzl9BTSvJLIj7EC2nG0d92R9UCGy5XnoRtuWWVk)
- [29] AN1445: Antenna design guide for MFRC52x, PN51x and PN53x [online]. Rev. 1.2. RF GaN Fab, Arizona, USA: RF GaN Fab, Arizona, USA, © 2010 [cit. 2022-05-14]. ISBN 144512. Dostupné z: <https://my.eng.utah.edu/~mlewis/ref/NFC/AN1445.pdf>
- [30] TX4139: 2A, 75V, 200KHz Step-Down Converter [online]. V1.1. Pingsham Avenue, Pingsham District, Shenzhen: <http://www.xdssemi.com/>, none [cit. 2022-05-14]. ISBN none. Dostupné z: [https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1811141153\\_XDS-TX4139\\_C329266.pdf](https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1811141153_XDS-TX4139_C329266.pdf)
- [31] In: Modbus TCP architecture: Figure 2: Modbus TCP is typically implemented on an Ethernet network, and data transactions from a client are directed toward a server via an IP address. [online]. P: 630-467-1300 | 1501 E. Woodfield Road, Suite 400N, Schaumburg, IL 60173: Control Global, Copyright © 2004 - 2022 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.controlglobal.com/articles/2019/introduction-to-modbus/>
- [32] MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION [online]. none: MODBUS-IDA.ORG, 2006 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: [https://modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b.pdf](https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf)
- [33] Ipc2u.cz: Podrobný popis protokolu Modbus TCP s příklady příkazů [online]. Ringhofferova 115.1 Budova 21, kanc 216, 155 21 Praha 5: iPC2U, © 2022 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://ipc2u.cz/blogs/news/podrobny-popis-protokolu-modbus-tcp-s-priklady-prikazu>

# SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
NFC	Near Field Communication
RFID	Radio-Frequency Identification
NDEF	NFC Data Exchange Format
SNEP	Simple NDEF Exchange Protocol
LAN	Local Area Network
URL	Uniform Resource Locator
PoE	Power over Ethernet
PSE	Power Sourcing Equipment
PD	Powered Device
LED	Light-Emitting Diode
CPU	Centrální procesorová jednotka
MCU	Microcontroller Unit
DPS	Deska plošných spojů
RF	Rádio frekvenční
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
SPI	Seriál Peripheral Interface
BLE	Bluetooth Low Energi
DC	stejnoseměrný – Direct Current
PSE	Power-Sourcing Equipment
PD	Powered Device
USB	Universal Seriál Bus
DIN	Data Input
DOUT	Data Output
VDD	Voltage Drain Drain
TX	Transmit
RX	Recive
TCP	Transmission Control Protocol

Symboly:

$U$	napětí	(V)
$I$	proud	(A)
$R$	rezistivita	( $\Omega$ )
$C$	kapacita	(F)
$L$	indukčnost	(H)
$f$	frekvence	(Hz)
$\omega$	úhlová rychlost	(rad/s)
$X$	reaktance	( $\Omega$ )

## SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - SCHEMATIC_NFC_READER .....	53
PŘÍLOHA B - ETHERNET_NFC_READER.....	54
PŘÍLOHA C - DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ .....	55
PŘÍLOHA D - CTECKA_NFC .....	56

# **Příloha A - Schematic\_NFC\_Reader**

Příloha A – Schéma navržené NFC čtečky

# **Příloha B - Ethernet\_NFC\_Reader**

Příloha B – Návrh desky plošných spojů v programu KiCad 6.0

# **Příloha C - Deska plošných spojů**

Příloha C –horní i dolní vrstva DPS

# **Příloha D - Ctecka\_NFC**

Příloha D – program pro funkci NFC čtečky