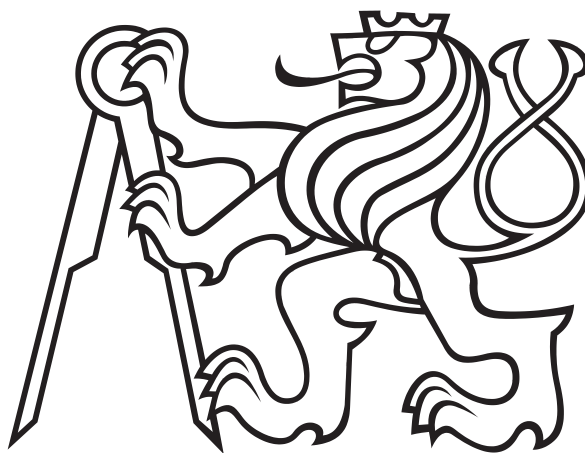


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



Diplomová práce

2017

Bc. Martin Horák

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

katedra telekomunikační techniky



Diplomová práce

System pro měření citlivosti RFID UHF tagů

Autor: Bc. Martin Horák

Vedoucí práce: Ing. Bc. Lukáš Vojtěch, Ph.D.

květen 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Horák** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **406130**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra telekomunikační techniky**
Studijní program: **Komunikace, multimédia a elektronika**
Studijní obor: **Sítě elektronických komunikací**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Systém pro měření citlivosti RFID UHF tagů

Název diplomové práce anglicky:

System for UHF RFID TAG sensitivity measurement

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a zrealizujte systém pro měření citlivosti RFID UHF tagů, využívající aparaturu v laboratoři EMC K13132. Realizujte ovládání krokových motorů, komunikaci se senzory i UHF RFID čtečkou a také měřicí a vizualizační SW. Systém ovládání a měření realizujte s ohledem na možnost dálkového ovládání a dohledu nad prováděným měřením. Ve své práci navazujte na již realizované experimenty v této oblasti a tyto experimenty detailně analyzujte. Součástí řešení je taktéž testování a dokumentace navrženého systému.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Finkenzeller, K.: RFID Handbook, John Wiley & Sons, ISBN 0-4708-44-027.
- [2] Sviták, P.: Polohovací systém pro měření citlivosti RFID UHF tagů, BP 2015, FEL - ČVUT v Praze
- [3] RepRap Openource dostupný na <http://reprap.org/> [on-line]

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Lukáš Vojtěch Ph.D., katedra telekomunikační techniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **17.02.2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **26.05.2017**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci „Systém pro měření citlivosti RFID UHF tagů“ zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a použil pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování této práce nebo její části se souhlasem katedry.

Jako autor této diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s jejím vytvořením, jsem neporušil autorská práva třetích osob a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb.

V PRAZE DNE 21. 5. 2017

.....

(Martin Horák)

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Bc. Lukášovi Vojtěchovi Ph.D. za účast na spolupráci a vstřícnosti při konzultacích .

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací systému pro měření citlivosti RFID UHF tagů pro aparaturu v laboratořích EMC K13132. Práce přibližuje technologii RFID a použité komponenty měřicího systému, jehož řídicím prvkem je vývojový kit Nucleo STM32F302Z8 s rozšiřujícím modulem X-NUCLEO-IHM02A1 pro řízení dvou krokových motorů. Uživatelské prostředí na vizualizaci naměřených dat a vzdálené ovládání je zajištěno pomocí webového serveru, umístěného na jednočipového mikroprocesoru ESP8266. Systém je navržen pro čtečku RFID UHF tagů vyvíjenou na ČVUT, fakultě elektrotechnické a využívá konstrukce vytvořené v rámci bakalářské práce, na kterou navazuje.

Klíčová slova

ESP8266, krokový motor, polohovací systém, RFID, X-NUCLEO-IHM02A1

Abstract

This thesis deals with the design and implementation of a system for measuring the sensitivity of RFID UHF tags for the apparatus in the laboratories EMC K13132. The paper draws on the RFID technology and the components of the measuring system, Nucleo STM32f302Z8 development kit with the X-NUCLEO-IHM02A1 extension. The user interfaces for visualization of measured data and the remote control is provided by a web server located on the ESP8266 single-chip microprocessor. The system is designed for UHF RFID tag reader developed at CTU, Faculty of Electrical Engineering and utilizes construction created within the bachelor thesis.

Key words

ESP8266, krokový motor, polohovací systém, RFID, X-NUCLEO-IHM02A1

Obsah

Úvod

1	RFID – Radiofrekvenční identifikace	2
1.1	RFID tag	3
1.1.1	Pasivní tagy	3
1.1.2	Semi-aktivní tag	4
1.1.3	Aktivní tag	5
1.2	Standardizace	5
1.3	Používané spektrum	7
1.4	Vlastnosti omezující příjem	8
2	Měření RFID	9
2.1	Frekvenční tolerance	9
2.2	Dosah čtení a zápisu	10
2.3	Tolerance natočení	11
2.4	Existující systém pro měření RFID	12
3	Krokové motory	13
3.1	Princip chodu krokového motoru	14
3.2	Druhy krokových motorů	14
3.3	Řízení krokových motorů	14
3.3.1	Jednofázové řízení	15
3.3.2	Vícefázové řízení – celokrokový režim	15
3.3.3	Vícefázové řízení – půlkrokový režim	16
3.3.4	Vícefázové řízení – mikrokrokový režim	16
4	Komunikační protokoly	17
4.1	SPI	17
4.2	UART	19

5	Hardware pro polohovací systém a čtení RFID tagů	20
5.1	ESP8266	20
5.2	STM32F302 a X-NUCLEO IHM02A1	22
5.3	Konstrukce polohovacího systému	23
5.4	Soustava pro měření	24
6	Software pro ovládání polohovacího systému	25
6.1	Uživatelské prostředí	25
6.2	Měřicí smyčka	28
7	Zhodnocení	29
8	Závěr	30
	Závěr	30
	Seznam literatury	32

Obrázky

1-1	Měřicí soustava RFID [2]	2
1-2	Modulace zátěží	3
1-3	Modulace zpětným rozptylem	4
1-4	Semi-aktivní tag	4
1-5	Aktivní tag	5
1-6	Electronic Product Code [8]	6
1-7	Propustnost materiálů [21]	8
2-1	NI-VISN-100	12
3-1	Krokový motor – celkový pohled, stator a rotor	13
3-2	Jednofázové řízení motoru [13]	15
3-3	Vícefázové řízení motoru - celokrokový režim [13]	15
3-4	Vícefázové řízení motoru - půlkrokový režim [13]	16
3-5	Microstepping [13]	16
4-1	Polarizace signálu SPI [17]	18
5-1	ESP8266 [18].	20
5-2	Zapojení ESP-01	22
5-3	Konstrukce měřicí soustavy [21]	23
5-4	Schéma zapojení	24
5-5	Hardware polohovacího zařízení s UHF RFID čtečkou	24
6-1	Uživatelské rozhraní ESP8266	26
6-2	Průběh měření	26
6-3	Nastavení Wi-Fi	27
6-4	Vývojový diagram měřicí smyčky	28

Seznam zkratek

RFID	Radio Frequency Identification
RTLS	Real time location system
ISO	International Organization for Standardization
EPCglobal	Electronics Product
EPC	Electronics Product Code
NFC	Near Field Communication
IEC	International Electrotechnical Commission
SHF	Super High Frequency
MW	Microwave
UHF	Ultra High Frequency
HF	High Frequency
MF	Medium Frequency
LF	Low Frequency
Wi-Fi	Wireless Fidelity
AVI	Automatic Vehicle Identification
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
SPI	Serial Peripheral Interface
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
CAN	Controller Area Network
USB	Universal Serial Bus
LED	Light Emitting Diode
GPIO	General Purpose Input/Output
CSV	Comma-separated value

Úvod

Identifikační systém RFID (Radio Frequency Identification) je využíván pro rychlou identifikaci objektů pomocí bezdrátové komunikace. Jeho využití lze najít v mnoha odvětvích průmyslu, jako například identifikace výrobků ve výrobním procesu nebo v zabezpečovacích systémech pro přístup osob do budov. Systém využívá malých elektronických zařízení – tagů, které obsahují informace o objektu, na kterých je tento tag umístěn. Tyto informace jsou poté vyčítány a dále zpracovávány pomocí čtečky (interrogator). Tagy postupně nahrazují nebo doplňují stávající technologii čárových kódů, které na rozdíl od elektronických tagů musejí být vždy umístěny na vnější straně výrobku. Právě výhoda vzdáleného vyčítání dělá RFID technologii tolik rozšířenou v mnoha aplikacích.

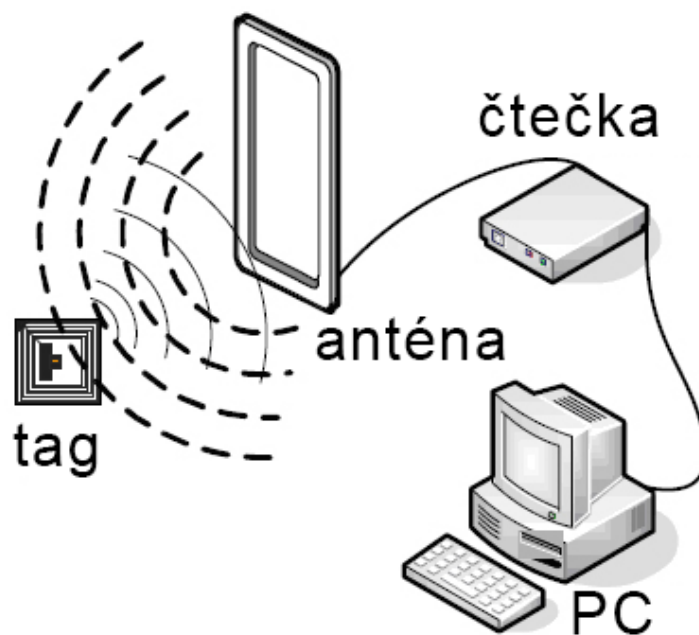
S rozšiřujícím se využitím RFID se objevují stále nová a dokonalejší čtecí zařízení, které musí s velkou přesností vyčíst hodnoty i za nepříznivých podmínek pro čtení. Rychlost a úspěšnost čtení závisí jak na prostředí mezi čtečkou a tagem, tak i na jejich natočení proti sobě.

Pro změření spolehlivosti přenosu dat při natočení, je třeba zajistit stabilní polohu proti čtečce tak, aby výsledky různého měření bylo srovnatelné. Tato práce se zaměřuje na metody měření chybovosti čtení v závislosti na natočení čtečky k tagu a vývoji polohovacího zařízení pro čtečku. Systém je konstruován jako příslušenství pro čtečku vyvíjenou na ČVUT Praha, Fakultě elektrotechnické, v rámci projektu EUREKA.

Kapitola 1

RFID – Radiofrekvenční identifikace

Technologie RFID je systém pro identifikaci objektů za pomoci radiofrekvenční komunikace. Použitý objekt může být libovolný výrobek, karta, zařízení, na které lze připevnit identifikační tag. Informace o objektu je uložena na tagu, ze kterého je možné tuto informaci kdykoliv zpětně vyčíst. [1].



Obr. 1-1: Měřicí soustava RFID [2]

1.1 RFID tag

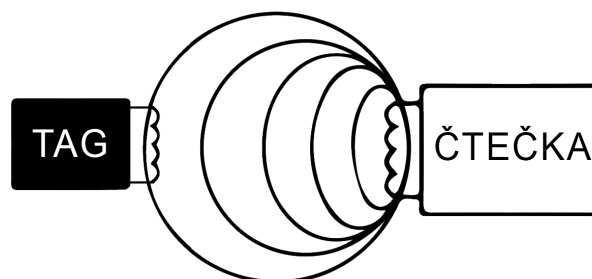
Samostatný tag se skládá ze dvou částí. Z antény, která slouží primárně k příjmu namodulovaných elektromagnetických vln a z čipu s informacemi, které jsou z tagu vyčítány. Tagy lze rozdělit do několika kategorií podle rychlosti čtení, možnosti přepisu a typu napájení [3].

1.1.1 Pasivní tagy

Pasivní tagy využívají energii, kterou musí nejprve naakumulovat prostřednictvím antény, než dojde k samotnému přenosu dat do čtečky. v tagu je pro tento účel zabudován kondenzátor, který zajistí napájení po celou dobu, kdy jsou data vyčítána. Paměť těchto tagů se nejčastěji pohybuje od 64 do 256 bytů. Z důvodu potřeby akumulace energie ze čtečky je maximální možná vzdálenost mezi tagem a čtečkou řádově jednotky metrů. Tato vzdálenost se může lišit v závislosti na vysílaném výkonu a metodě zpětné komunikace se čtečkou. Rozlišujeme dvě metody komunikace:

- Modulace zátěží a indukční vazbou v blízkém poli

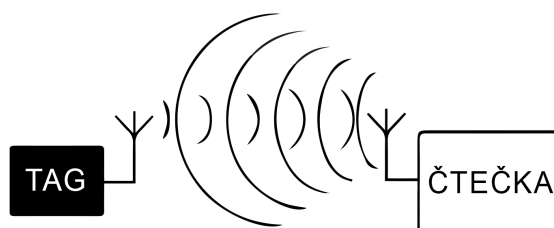
Čtečka generuje střídavé magnetické pole, které je indukováno do antény tagu. Z teorie indukovaného napětí vychází, že pokud zatížíme anténu (cívku) tagu, dojde ke změně napětí i na anténě vysílací strany. Na tomto principu funguje i přenos dat zpět do čtečky, kdy tag přepíná svoji zátěž na anténě a amplitudově moduluje odraženou vlnu. Tato technika je používána pro přenos na frekvenci 13,56 MHz. Nevýhodou je krátký dosah daný úbytkem elektromagnetického pole s $1/r^6$, kde r vyjadřuje vzdálenost tagu od čtečky.



Obr. 1-2: Modulace zátěží

- Modulace zpětným rozptylem a vazbou ve vzdáleném poli

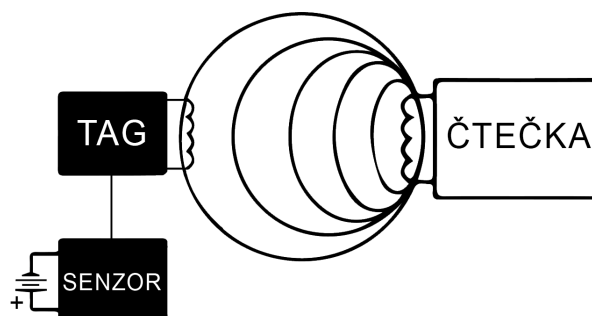
Tag v tomto případě je také napájen pomocí elektromagnetického pole, avšak nyní využíváme vlnového charakteru pole, které dopadá na anténu tagu. Vlivem impedančního nepřizpůsobení se část elektromagnetické vlny odrazí zpět ke čtečce. Velikost odražené vlny závisí na velikosti zátěže připojené na anténu RFID tagu. Změnou zátěže tedy ovlivňujeme množství odražené vlny, kterou detekujeme čtečkou. Vyčítání dat touto metodou lze provádět na delší vzdálenost, hlavně kvůli mnohem pomalejší míře útlumu vlny ($1/r^2$). Nejčastěji se využívá pro komunikaci frekvence vyšší než 868 MHz.



Obr. 1-3: Modulace zpětným rozptylem

1.1.2 Semi-aktivní tag

Semi-aktivní tag odstraňuje nevýhody pasivních tagů, kterými jsou především krátký dosah čtení a chybějící napájení pro operaci s daty na čipu v době, kdy není v dosahu antény čtečka. Zvláště možnost průběžného ukládání dat rozšiřuje využitelnost RFID technologie pro stále se rozšiřující senzorové sítě.



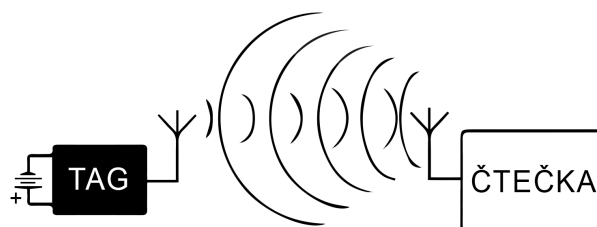
Obr. 1-4: Semi-aktivní tag

K čipu je v případě semi-aktivního tagu připojena část pro měření hodnot ze senzoru a samotný senzor. Pro napájení se často používá baterie, ale lze využít i alternativních zdrojů solárního napájení nebo bezdrátové energie [4]. Zdroj však napájí pouze obvody vlastního senzoru, proto výčet dat je stejný jako z pasivního tagu, nejčastěji tedy metodou modulace zpětným rozptylem. Přestože semi-aktivní tag má stejnou anténu jako pasivní, může být lépe přizpůsobena ke zpětnému odrazu a zajistit tak dosah komunikace až desítky metrů.

1.1.3 Aktivní tag

Aktivní tag má zabudovaný zdroj napájení, kterým bývá kvůli mobilitě nejčastěji baterie. Díky nezávislosti na přítomnosti čtečky může tento tag vysílat své informace buď v podobě pravidelných beacon zpráv, informujících o přítomnosti tagu, nebo až na požádání od čtečky. Tag v tomto případě lze vyčíst až na vzdálenost několika stovek metrů. Jeho čip obsahuje řádově větší paměť, dosahující kapacity stovek kB.

Díky této kapacitě lze již do tagu nahrát celou databázi o dané položce a tím zamezit bezpečnostním hrozbám, které vznikají při sdílení externí databázi. Avšak vzhledem k vyšším pořizovacím nákladům se aktivní tagy využívají jen tam, kde se mohou použít opakovaně, například v logistice pro zabezpečení a kontrolu správných přepravních podmínek (teplota, vibrace ...). v neposlední řadě jsou aktivní tagy využívány v RTLS (Real time location system), tedy v systémech pro lokalizaci objektů v reálném čase [5], kde se využívá pravidelných beacon zpráv pro lokalizaci pohybu osob a objektů.



Obr. 1-5: Aktivní tag

1.2 Standardizace

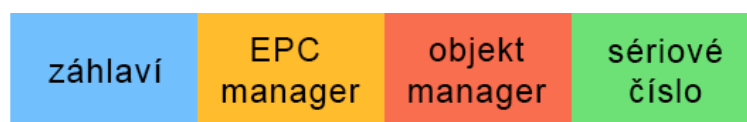
Stejně jako u jiných technologií je použito standardů, které umožňují vzájemnou kompatibilitu napříč zařízeními různých výrobců. Mezi dvě nejvýznamnější organizace spravující standardy RFID patří ISO (International Organization for Standardization) a EPCglobal (Electronics Product Code Global Incorporated), které určují základní

rámec standardů RFID. Mimo tyto organizace existuje množství dalších, zabývajících se specializovanými odvětvími RFID jako je například NFC.

První standardy, které popisují komunikaci v RFID byly vydány již v roce 1996, kdy standardizační organizace ISO společně s IEC založila výbor pro standardizaci RFID. Postupným vývojem byla vydána řada standardů, později doplněna sérií ISO 18000 obsahující standardy pro vysílání v daných frekvenčních pásmech. [6]

Organizace EPCglobal vznikla v roce 2003 a sdružuje firmy podnikající v oblasti RFID [7]. Zajišťuje technickou standardizaci v oblasti využití RFID v praxi a standardizuje fyzické provedení transpondérů, strukturu dat, možnosti testování, komunikaci na radiovém rozhraní a konkrétní aplikace.

Důležitým identifikátorem v RFID komunikaci je tzv. EPC (Electronic Product Code). Tento identifikátor je přidělován organizací EPCglobal pro zachování jednoznačnosti a jedinečnosti v rámci celého internetu věcí.



Obr. 1-6: Electronic Product Code [8]

V (obr. 1-6) je znázorněno rozdělení čísla EPC do čtyř částí :

- Záhlaví – definování délky, typu a struktury kódu
- EPC manager – identifikace konkrétní společnosti
- Object manager – typ položky, druh výrobku
- Sériové číslo – konkrétní položka v rámci daného typu

V této době se již využívá druhé generace standardů s šesti třídami, definujícími funkcionalitu tagu.

- Class 0 - UHF pouze pro čtení, předprogramovaný pasivní tag z výroby
- Class 1 - UHF nebo HF, možný pouze jeden uživatelský zápis, neomezené čtení
- Class 2 - Neomezený zápis a čtení
- Class 3 - Aktivní či poloaktivní tag umožňující připojení senzorů

- Class 4 - Aktivní tag komunikující s jinými tagy a čtečkou
- Class 5 - Rozšířená verze třídy 4, umožňující napájet jiné tagy

1.3 Používané spektrum

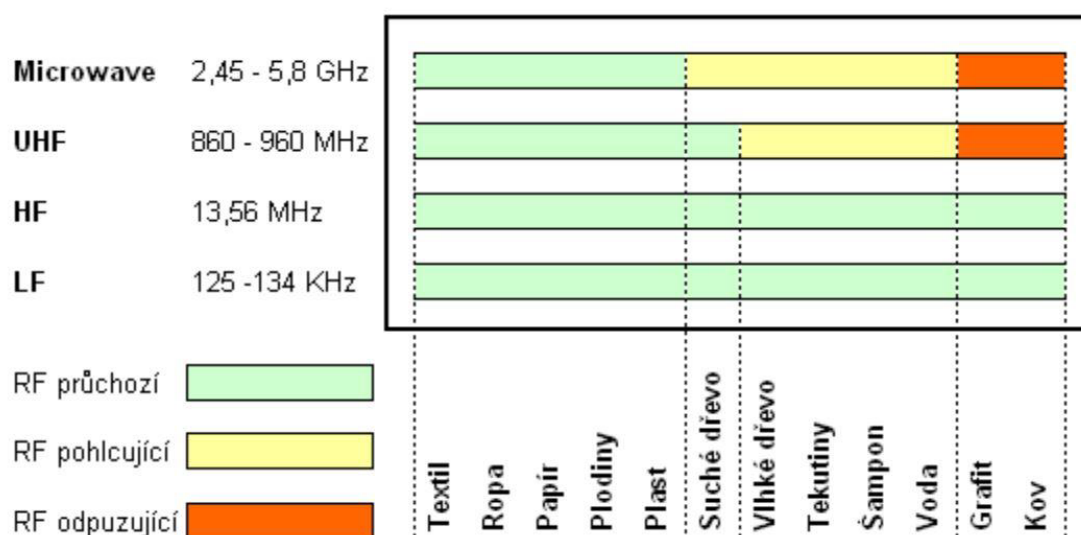
Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, RFID technologie je využívána v různých systémech s různými požadavky na dosah, velikost čtených dat, přenosové rychlosti, počtu vyčítaných tagů najednou. Z tohoto důvodu RFID pracuje na několika frekvencích [9][24].

Základní dělení používaných frekvencí:

- LF (Low Frequency) – Nízké kmitočty v pásmu 125 – 134,2 kHz, které je globálně nelicencované. Dosah čtení na tomto kmitočtu je do 0,5 m. Proto je vhodné tam, kde lze přiložit čtečku blízko tagu. Příkladem může být evidence drobných výrobků ve výrobním procesu nebo „očipování“ domácích zvířat.
- MF (Medium Frequency) – Střední kmitočty v úzkém pásmu 6,765 - 6,795 MHz používané pro pasivní tagy vyčítané pomocí modulace zátěží.
- HF (High Frequency) – Vysoké kmitočty, kdy přenos probíhá na frekvenci 13,56 MHz až do vzdálenosti 1 metru. Nejčastěji se s tímto kmitočtem setkáme u docházkových systémů a většiny elektronických karet.
- UHF (Ultra High Frequency) – Tato diplomová práce se zaměřuje na polohovací systém pro měření v tomto frekvenčním pásmu. Provozní kmitočet RFID UHF systémů je v pásmu 860–960 MHz s dosahem čtení do 15 metrů. RFID systémy na těchto frekvencích se používají v průmyslu pro sledování kontejnerů, zavazadel nebo pracovního řetězce výroby. Velkým omezením ve využití tohoto pásma jsou odlišné legislativy pro jeho využívání v různých zemích světa. Pro Evropu je vyhrazeno pásmo 865,6 - 867,6 MHz. Pro použití v Severní Americe lze využít pásmo 902–928 MHz a v Austrálii a Novém Zélandu nelicencované pásmo 918–926 MHz. Kompletní podmínky využití pásem lze nalézt v normách daných zemí.
- MW (Microwave) – Také označováno jako SHF (Super High Frequency). Systémy využívají nelicencované frekvence kolem pásma Wi-Fi 2,4 GHz a 5 GHz, na kterých jsou provozovány především s aktivními tagy s metodou zpětného odrazu. Dosah tohoto systému je přes 3 metry, proto je využíván například u technologie AVI (Automatic Vehicle Identification)

1.4 Vlastnosti omezující příjem

Každý bezdrátový systém podléhá rušení a přeslechům plynoucích z reálných podmínek prostředí. Největší překážku pro komunikaci představuje odraz a útlum způsobený vodivými předměty, jako jsou kovy, látky s příměsí kovů, ale i voda, která v podobě vlhkosti dokáže zcela změnit průchodnost materiálem. Tyto vlivy zásadně ovlivňují přijatý výkon dopadající na anténu, která nemusí mít dostatečnou energii pro nabití napájecího kondenzátoru v případě pasivního tagu, anebo nerozeznatelnou úroveň logických úrovní v případě aktivního tagu a chybného příjmu dat. Propustnost elektromagnetické vlny daným materiálem je závislá na použité vlnové délce, která může způsobit i totální odraz vlny. Následující obrázek (obr. 1-7) znázorňuje orientační chování používaných frekvencí v RFID a jejich chování na daný materiál, kde je patrný zásadní vliv hlavně ve vyšších frekvencích.



Obr. 1-7: Propustnost materiálů [21]

Kapitola 2

Měření RFID

Standardizační organizace EPCGlobal vydala dokument obsahující metodiku pro měření RFID tagů [10]. Dokument určuje sadu parametrů, které lze použít k porovnání tagů různých výrobců. V následujících podkapitolách jsou rozebrány metody týkající se měření parametrů tagů s ohledem na kvalitu přenosu dat.

2.1 Frekvenční tolerance

Účelem tohoto měření je zjištění citlivosti tagu na mírnou odchylku pracovní frekvence. Tagy, které dokáží pracovat na celé šířce frekvenčního pásma pro danou technologii, mohou být používány na všech trzích, a to i přes odlišné regulativní normy daných zemí. Měření je dáno následujícím postupem:

1. Vycentrování čtečky proti sobě ve vzdálenosti odpovídající vzdálené zóně
2. Nastavení vysílacího výkonu čtečky pod předpokládanou úroveň s 50% úspěšností vyčtení 96 bitového EPC
3. Nastavení frekvence čtečky na dolní hranici měřeného pásma, tedy na 860 MHz
4. Vyslání zprávy s předepsanou modulací a formátem
5. Postupné zvyšování výkonu po 0,25 dB až do 50% úspěšnosti přenosu EPC
6. Zaznamenání hodnoty EIRP 1
7. Zvýšení výkonu o 1 dBm a postupné snižování po 0,25 dB do hranice 50% úspěšnosti
8. Zaznamenání hodnoty EIRP 2 a zprůměrování s EIRP 1

9. Přepočet výkonu na normovanou vzdálenost a výkon 35 dBm pomocí následujícího vzorce:

$$L = r \cdot \frac{35 - PE}{20} \quad (2.1)$$

L = normovaná vzdálenost, r=vzdálenost tagu od čtečky při měření,
PE=průměr EIRP

10. Opakujeme měření po 5 MHz, až do frekvence 960 MHz

11. Z naměřených hodnot vypočítáme hodnoty tolerance pomocí následujícího vzorce:

$$Tolerance[\%] = \frac{U}{0,21} \quad (2.2)$$

U=počet prvků měření dosahující alespoň poloviny maximální hodnoty L z rovnice 2.1

2.2 Dosah čtení a zápisu

Účelem testu dosahu čtení je určit maximální vzdálenost pro úspěšné přečtení tagů. Se zvětšující se vzdáleností čtečky od tagu klesá úspěšnost čtení, proto je měření prováděno do doby, dokud úspěšnost čtení tagu s 96bitovým EPC neklesne na 50 %. Úspěch je definován jako vrácení platných údajů RN16 bez chyb a úspěšné odpovědi na Query a ACK příkazy z testovací čtečky. Postup měření je popsán kroky 1 až 9 z kapitoly 2.1 se změnou v kroku 3, kde se nastavuje hodnota odpovídající středu frekvenčního pásma pro dané měření.

Pro měření dosahu zápisu platí stejný postup, jen hranice úspěšného zapsání je podmíněna těmito podmínkami: Úspěšnou inventarizací celého 96bitového EPC, přijetím odpovědi na Req_RN příkaz a odpovědí na Write s nulovým kódem chyby do 20 ms.

2.3 Tolerance natočení

V reálném provozu má často tag různou polohu vůči čtečce při každém čtení. Cílem testu je změřit úspěšnost čtení tagu při natočení od hlavní osy se čtečkou. Postup měření je podobný jako měření dosahu čtení:

1. Aplikujte kroky 1 až 9 z kapitoly 2.1
2. Opakujte krok 1 s otáčením v azimutu s kroky po 10° ve směru hodinových ručiček z pohledu shora až do úhlu 90°
3. Opakujte krok 1 v opačném směru otáčení také po 10° . Naměřené hodnoty pro stejné úhly zprůměrujte
4. Opakujte krok 1 s otáčením v horizontální rovině s kroky po 10° proti směru hodinových ručiček z pohledu shora až do úhlu 90°
5. Opakujte krok 1 v opačném směru otáčení také po 10° . Naměřené hodnoty pro stejné úhly zprůměrujte
6. Celé měření opakujte pro elevaci
7. Podle vzorce 2.1 přepočítejte na normované vzdálenosti
8. Hraniční úhel jak v azimutu, tak elevaci je dán poloviční hodnotu oproti přímému směru
9. Výsledná procentní hodnota je dána vztahem

$$tolerance[\%] = \frac{\sum_{j=1}^{19} \sum_{i=1}^{19} \cos \phi_{el}(i) \cdot U(\phi_{el}(i), \phi_{az}(j))}{2,1717 \cdot \max(\text{rozsah}(\phi_{el}(i), \phi_{az}(j)))} \quad (2.3)$$

$$U(\phi_{el}(i), \phi_{az}(j)) \begin{cases} 1 & \text{rozsah}(\phi_{el}(i), \phi_{az}(j)) \geq 0,5 \cdot \max(\text{rozsah}(\phi_{el}(i), \phi_{az}(j))) \\ 0 & \text{rozsah}(\phi_{el}(i), \phi_{az}(j)) < 0,5 \cdot \max(\text{rozsah}(\phi_{el}(i), \phi_{az}(j))) \end{cases} \quad (2.4)$$

$$\text{rozsah}(\phi_{el}(i), \phi_{az}(j)) = L(\phi_{el}(i)) \cdot L(\phi_{az}(j)) \quad (2.5)$$

$$L = r \cdot \frac{35 - PE}{20} \quad (2.6)$$

Pokud převedeme naměřené hodnoty do grafu, parametrem tolerance je procentuální hodnota výšece polokoule, ve které je dosah minimálně poloviční oproti hodnotě v přímému směru.

2.4 Existující systém pro měření RFID

Pro měření RFID tagů a čteček existuje na trhu zařízení od firmy National Instruments[26], které testuje kvalitu přenosu a analyzuje posílaná data. Zařízení NI-VISN-100 obsahuje procesor umožňující v reálném čase vyhodnocovat data. Díky rekonfigurovatelné architektuře systému lze implementovat funkce pro testování jak dle standardu EPC 1. generace i 2. generace, tak i různé dodatečné funkce současných standardů. Toto zařízení lze rozšířit o různé moduly, zajišťující měření jak z pohledu čtečky, tak tagu. Díky modulům lze zařízení provozovat ve třech různých režimech:

1. Tester tagu - zařízení funguje jako čtečka RFID tagů, která testuje přikládání tag
2. Tester čtečky- zařízení funguje jako emulátor tagu, s kterým komunikuje testovaná čtečka
3. Odposlech - režim pasivního odposlechu komunikace, kterou však měřicí zařízení analyzuje



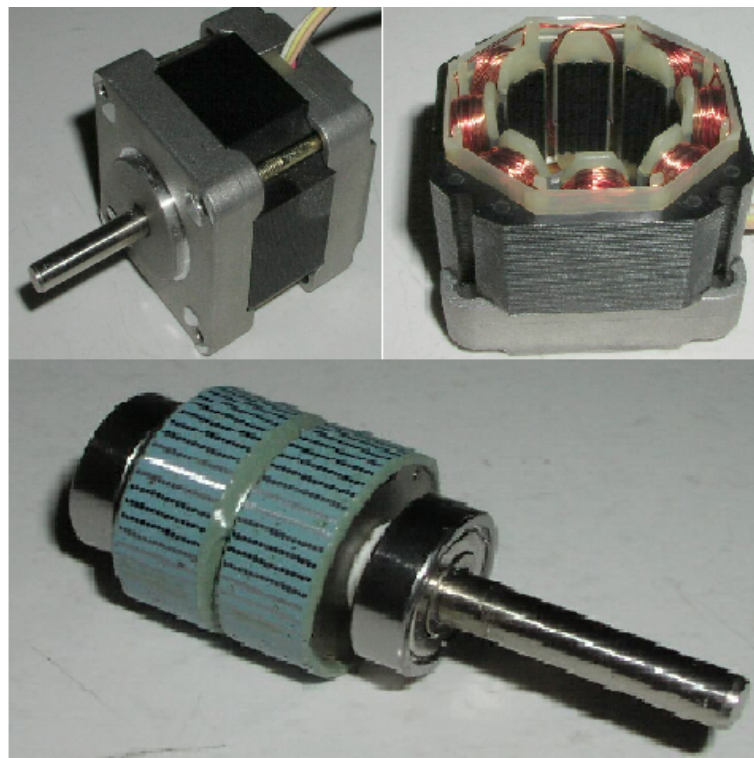
Obr. 2-1: NI-VISN-100

Tento systém nabízí podrobnou analýzu RFID systému, která však oproti systému vytvářenému v této práci neumožňuje měření v závislosti na poloze tagu.

Kapitola 3

Krokové motory

Pro polohovací systém je zapotřebí zajistit přesný úhel otočení s malou chybou, proto se často využívá krokových motorů, které tyto vlastnosti splňují. Krokový motor je synchronní stejnosměrný motor ovládaný impulzy, které jsou přiváděny do jeho cívek statoru. Speciální rozložení cívek statoru vytváří magnetické pole, které dokáže rotorem otáčet o jednotky stupňů s přesností až desetin stupňů. Nevýhodou těchto motorů je však jejich hlasitý chod a menší točivý moment [11]. Síla magnetického pole, tedy i točivý moment jsou úměrné velikosti proudu do statorového vinutí a počtu závitů cívek.



Obr. 3-1: Krokový motor – celkový pohled, stator a rotor

3.1 Princip chodu krokového motoru

Stator je tvořen pólovými nástavci s cívkami rozmístěnými pravidelně po obvodu. v závislosti na použitém druhu řízení je postupně přiváděn proud do cívek, které vytvářejí magnetické pole přitahující rotorové pólové nástavce. Po připojení napětí na cívku se rotor natočí do polohy, kde magnetický odpor mezi póly je nejmenší, tedy když vzduchová mezera mezi pólovými nástavci rotoru a statoru je nejmenší.

3.2 Druhy krokových motorů

Krokové motory dělíme do několika skupin podle provedení statoru, tvaru motoru, typu napájení [12].

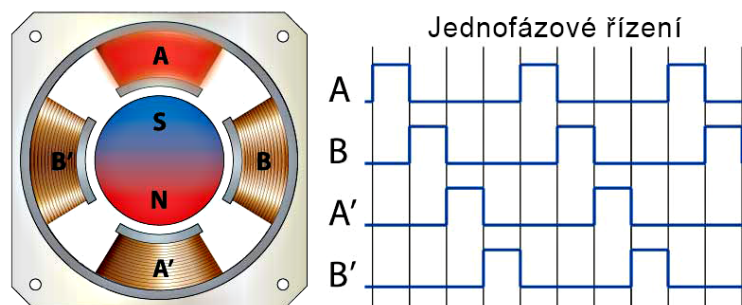
- **Unipolární motory** - Motory řízené pouze kladnými impulzy, které dovolují otáčení rotoru pouze jedním směrem.
- **Bipolární motory** - Motory řízené kladnými i zápornými pulzy, dovolující obousměrný chod motoru.
- **Motory s aktivním rotorem** - Rotor je tvořen permanentními magnety, které zvyšují momentovou sílu motoru
- **Motory s pasivním rotorem** - Rotor je tvořen magneticky měkkým materiálem, který se v magnetickém poli sepnuté cívky zmagnetizuje.
- **Hybridní motory** - Jsou kombinací pasivního a aktivního motoru, kdy jejich rotor je tvořen axiálně uloženým permanentním magnetem, na jehož koncích jsou umístěny feromagnetické pólové nástavce.
- **Lineární motory** - Mají speciální konstrukci, kde jejich stator i rotor jsou rozvinuty do roviny. Pohyb rotační je převeden na pohyb posuvný.

3.3 Řízení krokových motorů

Krokové motory z přecházející kapitoly je možné řídit několika možnými kombinacemi impulzů, napájející cívky pólových nástavců statorových cívek [13] [14]. Dané typy řízení se liší v plynulosti pohybu, momentu otáčení a spotřebě elektrické energie motoru.

3.3.1 Jednofázové řízení

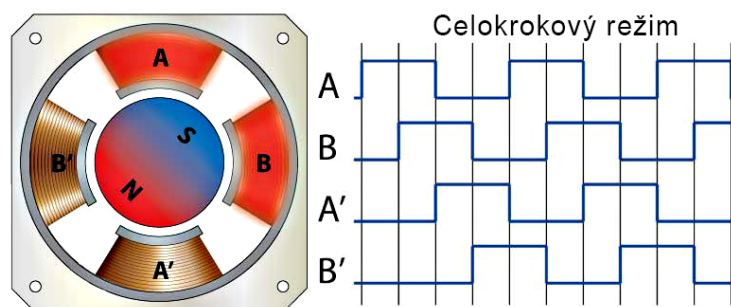
V případě jednofázového řízení je aktivována vždy jen jedna cívka na statoru v daném okamžiku. Výsledkem je malá spotřeba takto řízeného motoru, avšak i malý točivý moment. Obrázek (obr. 3-2) znázorňuje časový průběh napětí na statoru se čtyřmi póly, tedy se čtyřmi kroky na otáčku.



Obr. 3-2: Jednofázové řízení motoru [13]

3.3.2 Vícefázové řízení – celokrokový režim

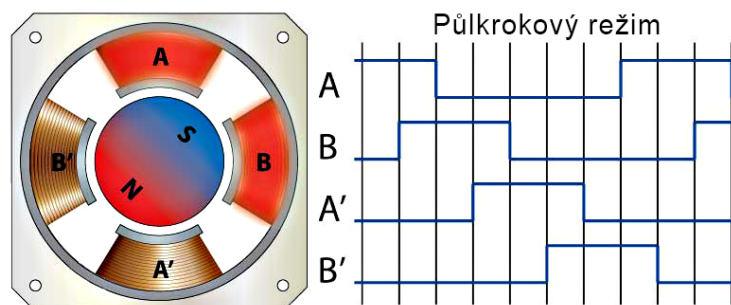
Oproti jednofázovému řízení se v tomto případě aktivují dvě sousední cívky najednou, a proto přitahují rotor dvojnásobnou silou. Nevýhodou je však také dvojnásobná spotřebou energie. Jak je z (obr. 3-3) patrné, počet kroků se nezmění, jen rotor je přitahován směrem k mezeře mezi póly.



Obr. 3-3: Vícefázové řízení motoru - celokrokový režim [13]

3.3.3 Vícefázové řízení – půlkrokový režim

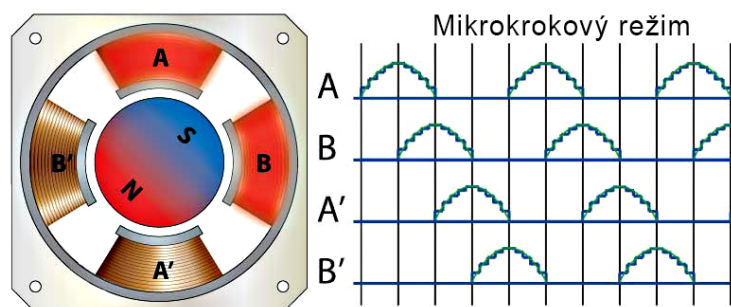
Půlkrokový režim vychází z předchozích dvou režimů, tedy jednofázového a celkokrokového. Jelikož oba režimy mají stejný počet kroků, ale vůči sobě jsou posunuty právě o poloviční krok, dosáhneme dvojnásobného počtu poloh na jedno otočení. Průběh signálů na (obr. 3-4) znázorňuje otáčení motoru po směru hodinových ručiček.



Obr. 3-4: Vícefázové řízení motoru - půlkrokový režim [13]

3.3.4 Vícefázové řízení – mikrokrokový režim

Posledním systémem ovládání krokových motorů a také nejčastějším, je tzv. microstepping. Rozdělení jednoho kroku je zajištěno několika úrovněmi napětí na cívkách. Následující obrázek (obr. 3-5) zobrazuje rozdělení jednoho kroku na 5 dalších. Takto ovládaný motor dosahuje plynulého posunu, avšak na úkor zmenšení točivého momentu.



Obr. 3-5: Microstepping [13]

Kapitola 4

Komunikační protokoly

V této práci jsou použity dva typy sériové komunikace pro zajištění přenosu dat nebo příkazů, ovládající polohovací systém. Pro komunikaci s modulem driverů pohánějící krokové motory je využita sběrnice SPI (Serial Peripheral Interface). Systém pro ovládání čtečky a posílání dat na server je tvořen sběrnicí UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter).

4.1 SPI

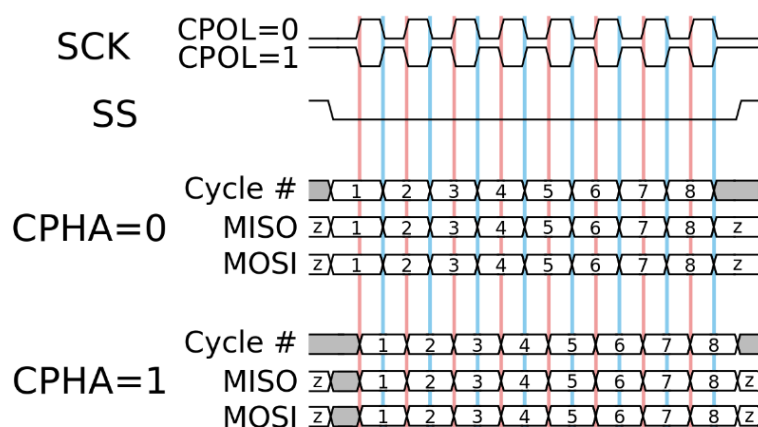
Sériová sběrnice SPI (Serial Peripheral Interface) je externí sběrnicí hojně používanou u procesorů [15]. Lze se s ní setkat při komunikaci s periferiemi jako jsou paměti, A/D převodníky či displeje. Velikou výhodou SPI je její jednoduchost a možnost přes jednu sběrnici obsluhovat několik zařízení. Tímto lze u zařízení snížit náročnost výroby a jeho cenu.

Veškerá komunikace pracuje na principu master-slave, přičemž sběrnice může obsahovat pouze jedno zařízení typu master. Počet slave zařízení není obecně technologií omezen, avšak jelikož se tyto zařízení časově dělí o přístup na sběrnici, bývá počet omezen je jen několik slave zařízení. SPI sběrnice využívá celkem tři vodičů a jednoho nepovinného:

- **MISO (Master input slave output)** – přenos od slave zařízení do master
- **MOSI (Master output slave input)** – přenos od master zařízení do slave
- **CLK (Clock)** – přenos hodinového taktu
- **SSEL (Slave select)** – nepovinný – určení slave zařízení s kterým probíhá přenos

Díky odděleným vodičům pro každý směr lze přenášet data plnou rychlostí oběma směry nezávisle, tedy v módu full duplex. v závislosti na možnostech přeslechů na vedení lze komunikovat až na frekvenci 70 MHz. Běžná hodnota hodinového signálu je však v řádech MHz, což odpovídá rychlosti megabitů za sekundu.

Samotný protokol SPI zajišťuje význam logických úrovní přicházejících po sběrnici. Pro sjednocení významu polarity signálu slouží konfigurační bity CPOL (úroveň klidové polohy hodin) a CPHA (reakce na sestupnou nebo vzestupnou hranu) [16]. Obrázek (obr. 4-1) znázorňuje všechny čtyři možnosti.



Obr. 4-1: Polarizace signálu SPI [17]

Zařízení pracující v režimu master má vždy na starosti zajišťování synchronizace dat pomocí signálu CLK. Posílání a přijímání dat je nejčastěji zajišťované pomocí posuvných registrů, které jsou obsaženy i ve většině starších procesorů. Registr může také sloužit pro vyrovnání rychlostí mezi procesorem a periférií (slave), se kterou komunikuje. Data jsou vždy závislá na kvalitě hodinového taktu, proto z důvodu parazitních kapacit lze SPI použít jen na kratší vzdálenost. Pro delší vzdálenosti protokolu chybí jakákoliv kontrola správnosti příchozích dat, tedy i možnost regulace rychlosti hodin v závislosti na chybovosti přenosu.

4.2 UART

Komunikace pomocí UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) se řadí mezi nejstarší metody přenosu dat [25]. Často pod pojem UART je myšleno zařízení, které serializuje data a posílá je do vzdáleného zařízení. Pro přenos je použito pouze dvou vodičů spolu s jedním volitelným vodičem pro sjednocení zemních potenciálů. Jelikož se jedná o asynchronní přenos, tedy hodinový signál není posílán, synchronizace je prováděna pomocí start a stop bitů přidaných na začátek a konec zprávy.

Když přijímací strana detekuje start bit, začne číst příchozí bity s předem danou frekvencí. Obě strany musí mít stejně nastavené tyto parametry přenosu:

- **Stop bit** – 1 nebo 2 bity označující konec paketu
- **Data bit** – 5 až 9 bitů dat přenášených přes UART
- **Parity** – parita zprávy, zajišťující správnost příjmu
- **Baud rate** – přenosová rychlost, nejčastěji 9600 bit/s, popř. 115200 bit/s

Výhodou UART protokolu oproti SPI je možnost detekce chyby přenosu pomocí paritního bitu. Další výhodou je volitelná délka dat pro komunikaci s různě výkonnými zařízeními, která je však omezena pouze na maximální hodnotu 9 bitů. UART také nepodporuje komunikaci s více zařízeními na stejné sběrnici. S nutností nastavení všech parametrů přenosu na obou stranách se zvyšuje pravděpodobnost špatného nastavení na jednom z koncových zařízení. Například odchylka u baud rate již o 10 % způsobí rozpad komunikace.

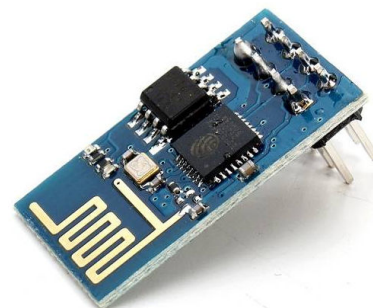
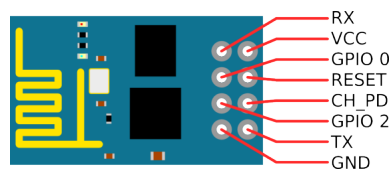
Kapitola 5

Hardware pro polohovací systém a čtení RFID tagů

Z důvodu dobré technické podpory a dostupných ovladačů pro krokové motory byl pro polohovací systém zvolen kit Nucleo od společnosti STMicroelectronics rozšířený deskou X-Nucleo IHM02A1 na ovládání krokových motorů. Systém je doplněn také o jednočipový modul ESP8266, který zajišťuje vzdálené ovládání zařízení přes webové rozhraní pomocí UART.

5.1 ESP8266

Pro vzdálené ovládání byl zvolen jednočipový Wi-Fi modul ESP-01 (obr. 5-1) s procesorem ESP8266 od společnosti Espressif.



Obr. 5-1: ESP8266 [18].

Modul obsahuje tyto piny:

- **Napájení:** pin GND a VDD
- **UART:** RX a TX
- **Servisní piny:** RESET a CH_PD sloužící jako chip select
- **GPIO:** piny všeobecné využití

Pro správnou funkci modulu je třeba připojit piny CH_PD a RESET na napájecí napětí, přičemž dočasným uzemněním pinu RESET se provádí reset zařízení.

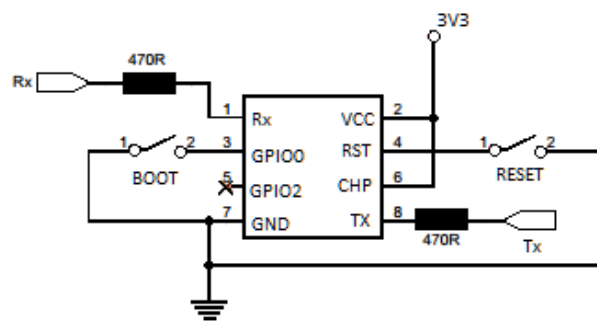
Modul ESP8266 je vybaven vestavěnou flash pamětí o velikosti 1 MB, umožňující pracovat s Wi-Fi, popřípadě i chod webového serveru. Instrukční paměť o velikosti 64 KB a datová paměť 96 KB. [19]

Díky nízké ceně a opensource platformě se tento modul stal oblíbeným v komunitě zabývající se IoT technologií. Pro programování lze využít několik firmwarů, vytvořených pro různé programovací jazyky a úrovně řízení.

- NodeMCU – firmware pro spouštění Lua skriptů
- MicroPython – firmware umožňující spouštět Python 3 skripty
- ESP8266Basic – interpret jazyka Basic
- Espressif – základní firmware poskytovaný výrobcem

Právě základní firmware od výrobce Espressif byl zvolen pro vytvoření vzdáleného ovládání polohovacího systému. Pro naprogramování bylo využito Linuxového prostředí Ubuntu a firmwaru esptool [22] na komunikaci s bootloaderem modulu. Program pro ovládání Wi-Fi serveru je napsán v jazyce C a společně s knihovnami pro správu [23] tvoří systém webového serveru.

ESP-01 modul v této práci je osazen na plošném spoji zajišťujícím napájení, nahrávání firmwaru a vyvedení vodičů rozhraní UART. Na (obr. 5-2) je znázorněno zapojení modulu, které vedle tlačítka reset obsahuje i druhé tlačítko boot, zajišťující nahrání nového firmwaru. Pro aktivaci bootloaderu pro nahrání nového firmwaru do ESP modulu je nutné před spuštěním ESPtool stisknout obě tlačítka zároveň a držet je až do začátku nahrávání.



Obr. 5-2: Zapojení ESP-01

5.2 STM32F302 a X-NUCLEO IHM02A1

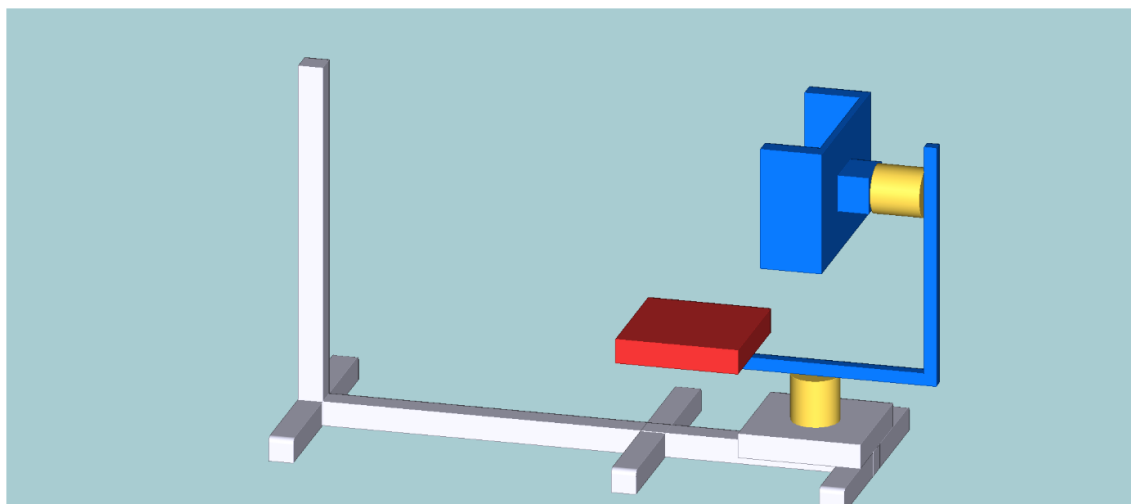
Kit Nucleo je osazen procesorem STM32F302R8T6 od společnosti ARM a univerzální patičí UNO. Kit disponuje mnoha periferiemi, jako jsou A/D převodníky, sběrnice I2C, SPI, UART a CAN. Pro funkci polohovacího systému je využito tří UART rozhraní a jednoho SPI, obsaženého v patiči UNO. Pro vývoj programu a zkompilování lze použít vývojové prostředí OpenSTM, postavené na platformě Eclipse. Nahrání programu poté probíhá pomocí USB rozhraní, které slouží také jako USART a JTAG rozhraní pro odlaďování a krokování programu [20].

Výše uvedený kit byl rozšířen přes patiči UNO o desku X-Nucleo IHM02A1 obsahující dvojici driverů L6470, které se ovládají příkazy posílanými přes SPI. Deska vyžaduje externí napájení 8 až 45V pro napájení připojených krokových motorů, a to až do maximálního středního proudu pro každý motor 3 A. Pro vizuální indikaci stavu ovládání motoru je deska vybavena také několika LED diodami.

- 2 zelené LED indikují napájení driverů
- 1 oranžová LED indikuje funkčnost spojení přes SPI
- 1 žlutá LED indikující zaneprázdněnost některého z L6470
- 1 červená LED značící chybu (ztrátu kroku, teplotní přetížení, chybný příkaz poslaný přes SPI)

5.3 Konstrukce polohovacího systému

Konstrukce polohovacího systému byla použita z bakalářské práce [21], na kterou tato práce navazuje. Konstrukce (obr. 5-3) je tvořena z částí plexiskla, které jsou slepeny v požadovanou konstrukci tak, aby neovlivňovala výsledná měření. Pro natáčení slouží již zabudované krokové motory firmy Times Brilliant, obsahující převodovku s převodovým poměrem 1:50, která zajišťuje velký moment otáčení i přídržný moment proti nechtěnému pootočení při manipulaci.

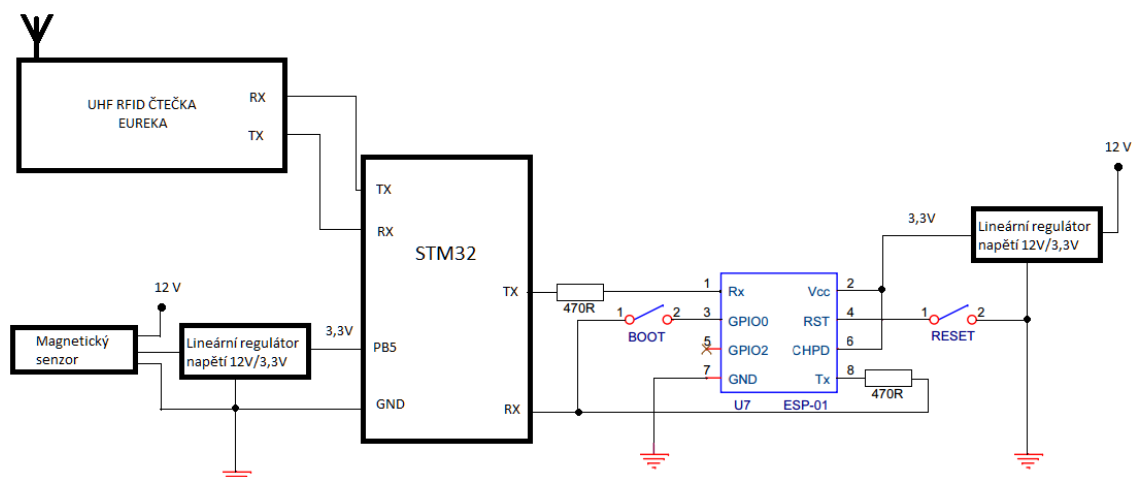


Obr. 5-3: Konstrukce měřicí soustavy [21]

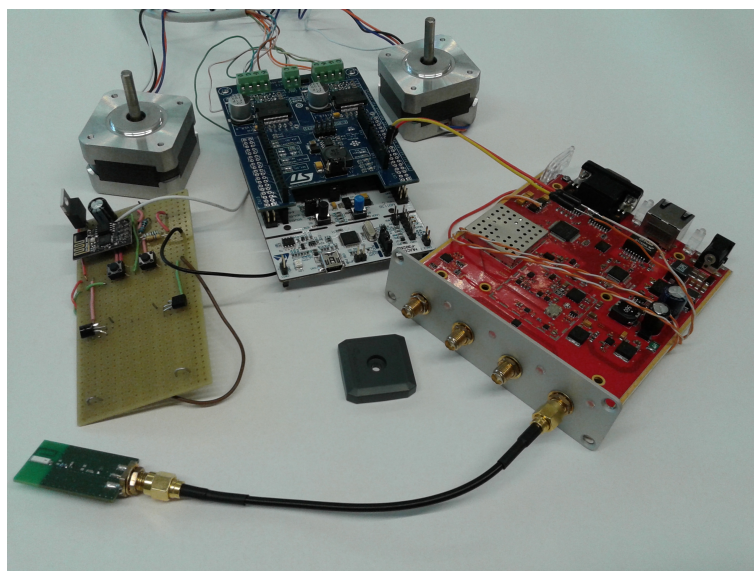
Podmínkou pro přesné výsledky je zajištění stejné výchozí pozice na začátku každého měření. K tomuto účelu je konstrukce vybavena dvěma magnetickými senzory, které tuto výchozí pozici zajistí. Použity jsou PNP senzory EI 0501 PPOS firmy Carlo Gavazzi, které však vyžadují napájení 12V. Pro zapojení do kitu musí být toto napětí sníženo lineárním regulátorem na 3,3V. Tato úroveň již může být čtena libovolným GPIO pinem na STM32.

5.4 Soustava pro měření

Soustava je tvořena výše uvedenými částmi, které jsou vzájemně propojeny pomocí sériových linek, nebo GPIO piny k STM kitu. Na obrázku (obr. 5-4) je znázorněno schematické zapojení soustavy včetně obsluhujících součástí pro modul ESP. Pro zajištění správné funkčnosti a možnosti naprogramování byl modul osazen na plošný spoj společně se servisními tlačítky pro reset a přeprogramování. Kompletní sestava pro polohovací systém je zobrazena na (obr. 5-5).



Obr. 5-4: Schéma zapojení



Obr. 5-5: Hardware polohovacího zařízení s UHF RFID čtečkou

Kapitola 6

Software pro ovládání polohovacího systému

Hlavní úlohu v ovládání celého systému má kit STM32, který na základě přijatých informací z ESP-01 spouští měřicí smyčku pro ovládání polohovací konstrukce a zajišťuje obsluhu RFID čtečky. Kit po zapojení naslouchá na pinech UART 1, kde očekává přijetí příkazu pro spuštění měřicí smyčky. Pro tuto komunikaci byla vytvořena datová struktura příkazu, ve které se posílají instrukce. Těmito příkazy lze nejen spustit měřicí cyklus s daným krokem otočení, ale i vyžádat si již naměřené hodnoty. Pro komunikaci se čtečkou se využívá rozhraní UART 3.

6.1 Uživatelské prostředí

Pro měření lze využít libovolné zařízení podporující bezdrátové připojení k internetu pomocí technologie Wi-Fi a vybavené webovým prohlížečem podporující Javascript. Při zapnutí měřicí soustavy se po chvíli zobrazí na zařízení nová síť Wi-Fi. Po připojení na tuto síť je zařízení automaticky přeměrováno na úvodní stránku uživatelského prostředí.(obr. 6-1) Zde je k dispozici textové pole pro nastavení kroku měření a sada tlačítek pro ovládání měření:

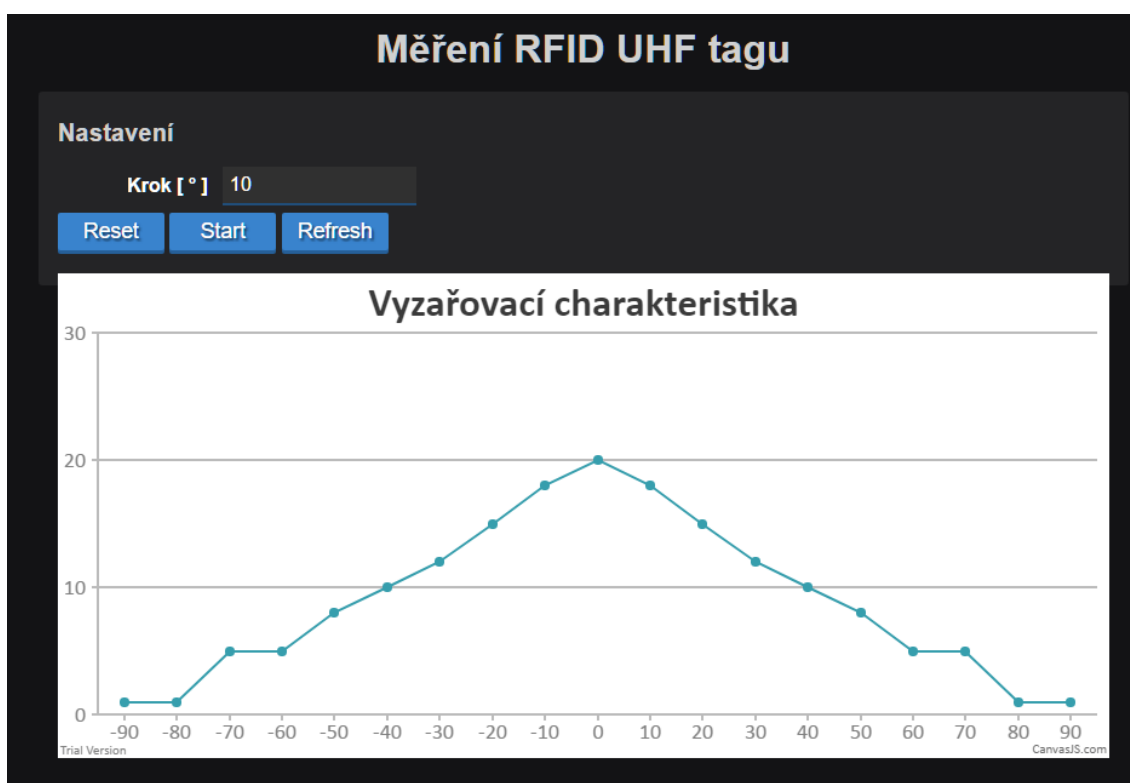
- Start – Spuštění měřicího cyklu
- Refresh – Vyžádání aktuálních naměřených dat
- Reset – Nastavení výchozích hodnot

Uživatelské rozhraní polohovacího systému pro měření RFID UHF tagů se skládá z nastavení požadovaného kroku měření a tlačítka Start pro spuštění měřicího cyklu. Při měření je na stránce zobrazena vyzařovací charakteristika (obr. 6-2), která je



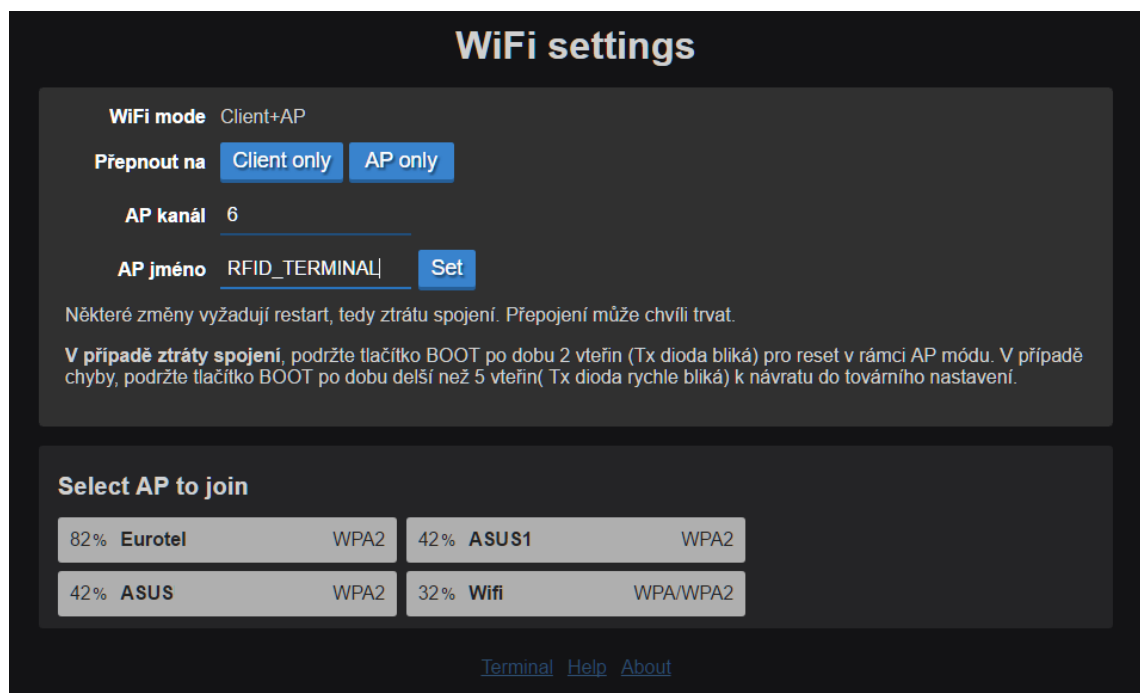
Obr. 6-1: Uživatelské rozhraní ESP8266

automaticky obnovována a postupně plněna naměřenými daty. Průběh měření není závislý na běhu uživatelského prostředí, proto po spuštění měřicího cyklu lze webovou stránku zavřít i odpojit se od serveru. Díky tomu si lze naměřená data zobrazit až po doměření celé charakteristiky. Nesmí být však předtím znovu spuštěna měřicí smyčka, jinak jsou naměřená data již smazána. Pro uchování naměřených dat je k dispozici stažení CSV souboru, které se stáhne pomocí odkazu pod tlačítky.



Obr. 6-2: Průběh měření

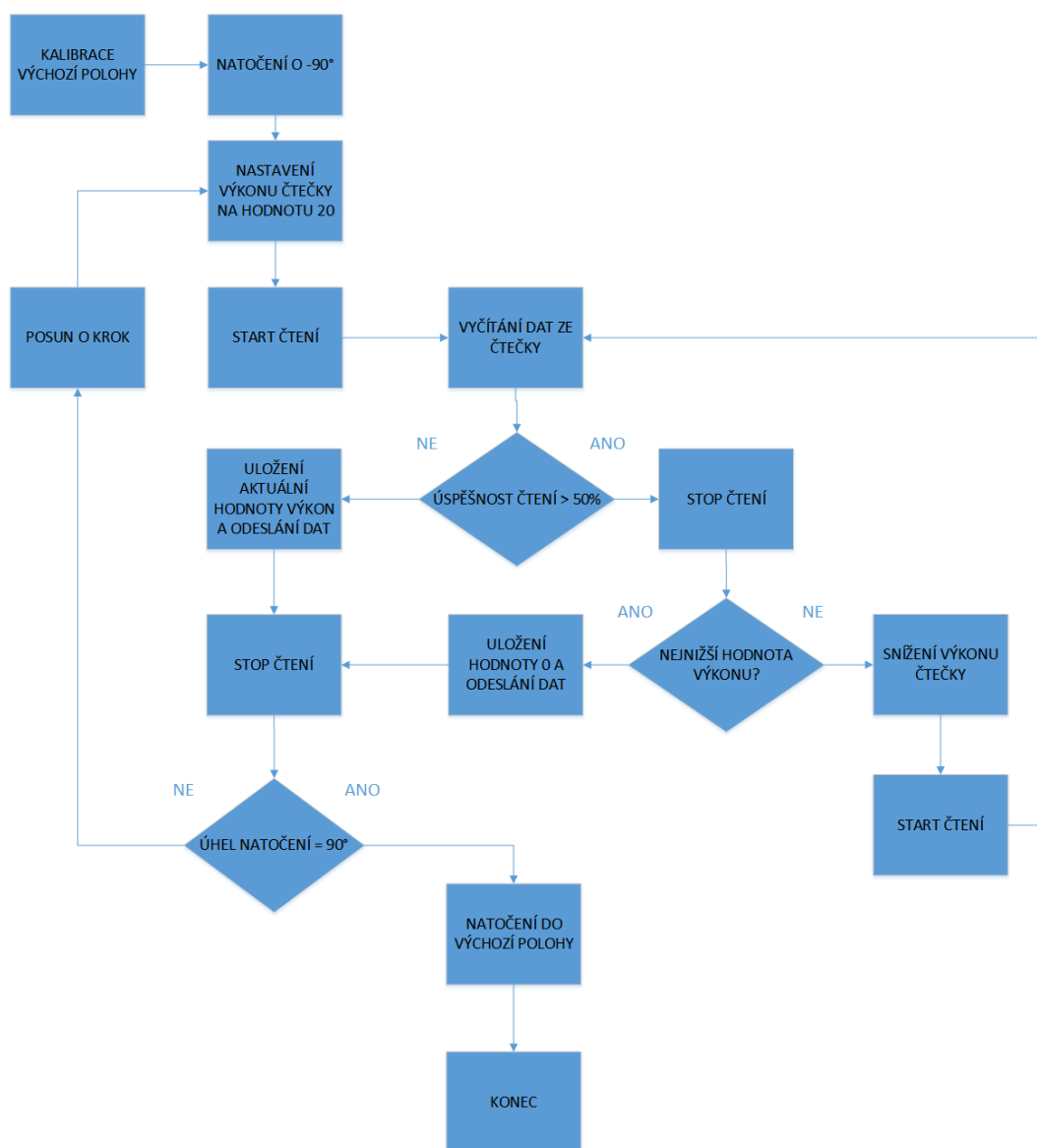
V úvodní stránce jsou ve spodní části umístěny odkazy pro správu Wi-Fi terminálu. Změnou nastavení lze docílit přepnutí z AP módu do módu klienta (obr. 6-3). Díky tomu lze měřicí soustavu připojit do místní lokální sítě a přistupovat k ní vzdáleně.



Obr. 6-3: Nastavení Wi-Fi

6.2 Měřicí smyčka

Při spuštění čtení způsobem popsáným v předchozí kapitole modul pošle zprávu do kitu STM přes UART, která obsahuje uživatelem nastavený měřicí krok. Kit zprávu přijme a spustí měřicí cyklus popsáný diagramem (obr. 6-4). Během měření kit komunikuje přes druhé rozhraní UART se čtečkou a v každé poloze natočení je hledána hranice úspěšnosti čtení 50 %. Výkon při této chybovosti je uložen a zároveň s ostatními hodnotami předchozích kroků poslán modulu ESP-01, kde je zobrazen. Pokud již celé měření bylo provedeno, kit STM32 čeká na nové spuštění nebo na dotaz od modulu ESP na naměřená data, která jsou v paměti až do dalšího měření.



Obr. 6-4: Vývojový diagram měřicí smyčky

Kapitola 7

Zhodnocení

Během návrhu polohovacího systému bylo nutné se vypořádat s několika obtížemi, které se vyskytly. V prvním návrhu měl být polohovací systém ovládán kitem STM řady F7, u kterého měla být provedena úprava ovladačů driverů motoru z řady STM32F3. Hlavním důvodem této snahy bylo využití webového serveru, který byl kitem podporován. Modifikací ovladačů byly stráveny první měsíce práce, avšak tato snaha nepřinesla úspěch, a bylo od ní upuštěno. Kit řady F7 byl nahrazen řadou F3, která však nenabízí možnost webového serveru, proto bylo využito Wi-Fi modulu ESP-01. S přidáním dodatečného modulu Wi-Fi serveru bylo nutné se seznámit s jeho programováním a mnohými dalšími funkcionalitami. Pro účel ovládání polohovacího systému byl modifikován projekt [23], který obsahuje již část zajišťující správu Wi-Fi a webového serveru. Z důvodu omezeného výkonu a paměti procesoru se převážná část vykreslování a funkcí musela přesunout na stranu webového klienta. Díky tomu bylo třeba se seznámit se základy jazyka JavaScript.

Nutným předpokladem pro správné měření je spolehlivá komunikace se čtečkou. Každý příkaz poslaný na čtečku musí být následován odpovědí o úspěšném provedení. Právě maximální frekvence změn posílaných na čtečku se stala dalším objektem testování, jelikož při rychlých změnách zapínání a vypínání čtení docházelo k nefunkčnosti čtečky. Problém byl vyřešen přidáním zpoždění mezi příkazy tak, aby nepřiměřeně nezpomalovalo cyklus, ale zároveň nedocházelo k chybám.

U výrobku byla otestována funkčnost celého systému při vyčítání dat z tagu zobrazeného na (obr. 5-5). Měřicí smyčka vyhovuje požadavkům na měření RFID UHF tagů a může být použita pro konstrukci polohovacího systému. Vytvořený systém však dosud nebyl zkompletován s polohovací konstrukcí, a proto nemohla být změřena vyzařovací charakteristika.

Kapitola 8

Závěr

Cílem mé diplomové práce bylo navrhnout a zrealizovat polohovací systém pro měření RFID UHF tagů pro čtečku vyvíjenou na ČVUT Praha, Fakultě elektrotechnické, katedře telekomunikací. Součástí realizace je i vizualizační software, který, s ohledem na vzdálené ovládání a dohled, je tvořen webovým rozhraním. Návrh navazuje na bakalářskou práci, ze které je také využita konstrukce, která je touto prací doplněna o ovládání motorů a čtečky a vizualizaci naměřených dat. Práce obsahuje teoretickou část o možnostech měření RFID tagů, popisuje použité komunikační protokoly a princip krokových motorů, pohánějících konstrukci polohovacího systému.

První kapitoly představují základy RFID technologie a jejich příklady využití i omezení v určitých aplikacích. Práce nezapomíná také na základní standardy, popisující hlavní součásti komunikace a struktury dat v RFID. V rámci standardizace jsou vypsány i metody pro měření hlavních parametrů týkajících se přenosu volným prostředím. V čtvrté kapitole teoretické části práce je představen princip krokového motoru a možnosti jeho řízení, které zásadně ovlivňují vlastnosti jeho chodu. Poslední kapitoly již představují hardware, který byl pro polohovací systém zvolen.

Polohovací systém (obr. 5-5) je tvořen kitem Nucleo STM32F302 doplněným o rozšiřující desku driveru krokových motorů X-Nucleo IHM02A1. Dále je k desce připojen Wi-Fi modul ESP8266 vytvářející uživatelské rozhraní pro ovládání. Systém nabízí nastavení variabilního kroku pro měření charakteristiky v horizontální rovině, přičemž naměřené hodnoty jsou v reálném čase zobrazovány v grafu na webové stránce.

Použitá konstrukce je vytvořena s ohledem na pozdější umístění do stíněného měřicího boxu. Je proto vyrobena z plexiskla, díky kterému jen minimálně ovlivňuje výsledky měření. V rámci vytváření tohoto systému jsem se setkal s několika problémy,

které jsou sepsány v části zhodnocení. Tyto problémy byly především v zajištění vzájemné spolupráce mezi všemi třemi částmi systému.

System sestrojený v rámci této diplomové práce je prvotním návrhem umožňujícím měření v horizontální rovině. System v dalším vývoji může být doplněn o ovládání ve vertikální rovině, ke kterému je system plně vybaven. Úpravou měřicí smyčky v kitu lze pohánět druhý motor, popřípadě rozšířit měřicí rozsah otočení na celých 360°.

Seznam literatury

- [1] Cisco Systems, Inc.,. Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide, kapitola 6 [online]. 2014 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Mobility/WiFiLBS-DG/wifich6.pdf>
- [2] RFID. Epc-rfid.info [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.epc-rfid.info/rfid>
- [3] FINKENZELLER, Klaus. Fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication. 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley, c2010. ISBN 04-706-9506-4.
- [4] VOJTĚCH, Lukáš. Solar and wireless energy harvesting semi-active UHF RFID tag design and prototyping. Mechatronics-Mechatronika: 16th International Conference on. IEEE. 2014, 2014, 188-193.
- [5] ASHER, K. Passive active RFID advantages and disadvantages. In: Mainspringhealth.com [online]. 2014 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://blog.mainspringhealth.com/passive-active-rfid-advantages-and-disadvantages>
- [6] POOLE, Ian. ISO epcglobal IEC standards [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/radio-frequency-identification-rfid/iso-epcglobal-iec-standards.php>
- [7] VOJTĚCH, Lukáš. RFID - technologie pro internet věcí. In: Access.fel.cvut.cz [online]. Praha: ČVUT, 2009 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://access.fel.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009020001>
- [8] EPC RFID [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.epc-rfid.info/>

- [9] POOLE, Ian. Low, high frequency bands frequencies. Radio-electronics.com [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/radio-frequency-identification-rfid/low-high-frequency-bands-frequencies.php>
- [10] Tag Performance Parameters and Test Methods. EPCglobal, 2008. Dostupné také z: http://www.gs1.org/docs/epc/uhfg2_1_1_0-TestMethod-TagParameters_1_1_3-20080630.pdf
- [11] Mikrokrokování: sny a skutečnost [online]. 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2016/mikrokrokovani-sny-a-skutecnost/>
- [12] "Krokový motor" [online]. 2015 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://isst.hys.cz/images/N2S/KM1.PDF>
- [13] NEDELKOVSKI, Dejan. Stepper Motor – How It Works. 2015. Dostupné z: <http://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/stepper-motor>
- [14] ŘEZÁČ, Kamil. Krokové motory [online]. 2002 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [15] TIŠINOVSKÝ, Pavel. Externí sériové sběrnice SPI a i^2c [online]. 2008 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c>
- [16] "Milan Verle," Architecture and programming of 8051 MCUs", [Online] [cit. 2017-05-23]. Dostupné na: <https://learn.mikroe.com/ebooks/8051programming/chapter/spi-system-serial-peripheral-interface/>.
- [17] " SPI timing diagram " , [Online]. [cit. 2017-05-23] Dostupné na: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b6/SPI_timing_diagram.svg/1280px-SPI_timing_diagram.svg.png.
- [18] "ESP-01", [Online]. [cit. 2017-05-23] Dostupné na: <http://www.esp8266.com/wiki/lib/exe/fetch.php?cache=&media=01-01.jpg>.
- [19] „ESP info,“ [Online]. [cit. 2017-05-23] Dostupné na: <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP8266>.
- [20] "STM32F302" [Online]. [cit. 2017-05-23] Dostupné na: <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f302r8.html>.

- [21] SVITÁK, Petr. Polohovací systém pro UHF RFID systém [online]. ČVUT Praha, Fakulta elektrotechnická, katedra telekomunikační techniky, 2015 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z:<http://hdl.handle.net/10467/61899>. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Bc. Lukáš Vojtěch Ph.D
- [22] Espressif „esptools“ [Online]. [cit. 2017-05-23] Dostupné na: <https://github.com/espressif/esptool>.
- [23] Ondřej Hruška „esp-vt100-firmware,“ [Online]. [cit. 2017-05-23] Dostupné na: <https://github.com/MightyPork/esp-vt100-firmware>.
- [24] Short Range Devices (SRD) intended for operation in the bands 865 MHz to 868 MHz and 915 MHz to 921 MHz. ETSI TR 102 436 V2.1.1. Dostupné také z: http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102400_102499/102436/02.01.01_60/tr_102436v020101p.pdf
- [25] BASICS OF UART COMMUNICATION. Circuitbasic.com [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>
- [26] NI-VISN-100 RFID TESTER. rfidinfo.com [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.rfidinfo.com.cn/Product/UpFiles/20071227100427284100.pdf>

