VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

ZAŘÍZENÍ PRO BEZDRÁTOVÉ ODEMYKÁNÍ DVEŘÍ

WIRELESS DOOR UNLOCKING DEVICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Viktor Cejnek

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Adam Dvorský

SUPERVISOR

BRNO 2024

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Viktor Cejnek ***ID:*** 240320

Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Zařízení pro bezdrátové odemykání dveří

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V bakalářské práci se seznamte s problematiku elektronického odemykání dveří a existujícími zařízeními řešící tuto oblast. V rešerši se dále seznamte s vnitřní stavbou dveřních zámků. Ze získaných poznatků navrhněte a sestavte elektronický i mechanický systém, který bude schopen odemknout zámek. Při vypracování zvolte vhodný způsob ovládání a komunikace se zařízením. Vytvořené řešení otestujte, zhodnoťte jeho funkčnost a následně porovnejte se zařízeními podobného typu, které byly zpracovány v rešerži. Součástí práce je také návod k instalaci a ovládání vytvořeného zařízení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 5.2.2024 ***Termín odevzdání:*** 30.5.2024

Vedoucí práce: Ing. Adam Dvorský

doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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

Bakalářská práce se zabývá nastudováním problematiky, návrhu a sestavení „Zařízení pro bezdrátové odemykání dveří“. Postupně probíhá nastudování zámků, cylindrických vložek a průmyslově vyráběných elektronických zámků. Dále je navržena, vyrobena a oživena řídící deska. Následně je navržena a sestavena konstrukce prototypu zařízení. Nakonec je provedeno testování a porovnání zařízení a vytvoření návodu pro zařízení.

Klíčová slova

Elektronický zámek, zámek, Bluetooth, BLE, STM32, STM32WB

Abstract

The bachelor’s thesis deals with the study of the problem, design, and construction of the “Wireless door unlocking device”. Firstly, the principle of locks, the cylinder function and industry made electronic locks are studied. Next, the main circuit board is designed, made, and powered on. After that the construction of the prototype is designed and created. Finally, the test and comparison and the manual are made.

Keywords

Electronic lock, lock, Bluetooth, BLE, STM32, STM32WB

Bibliografická citace

CEJNEK, Viktor. Zařízení pro bezdrátové odemykání dveří [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-29]. Dostupné z: https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/160205. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky. Vedoucí práce Adam Dvorský.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	Viktor Cejnek
VUT ID studenta:	240320
Typ práce:	Bakalářská práce
Akademický rok:	2023/24
Téma závěrečné práce:	Zařízení pro bezdrátové odemykání dveří

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: 28. května 2024 ----------

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Adamu Dvorskému za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ **9**

SEZNAM TABULEK **10**

ÚVOD **11**

1. ZÁMKY **12**

1.1 ZÁKLADNÍ MECHANISMUS A POJMY DVEŘNÍHO ZÁMKU 12
1.2 RŮZNÉ TYPY ZÁMKŮ 13
1.2.1 Lever lock – západkový zámek 13
1.2.2 Cylindrické vložky 13
1.3 ELEKTRONICKÉ ZÁMKY 15
1.3.1 Elektrický zámek 15
1.3.2 Elektromagnetický přídržný zámek 15
1.3.3 Pístový zámek 16
1.3.4 Elektromechanický a elektromotorický zámek 16
1.3.5 ČSN EN 14846 17

2. BLUETOOTH **18**

2.1 BLUETOOTH LOW ENERGY 18
2.2 ARCHITEKTURA 18
2.3 BEZPEČNOST 19
2.3.1 Bluetooth bezpečnostní opatření 19
2.3.2 Slabosti Bluetooth 20

3. EXISTUJÍCÍ ŘEŠENÍ **21**

3.1 CHYTRÝ ZÁMEK STAR 21
3.2 LOCKLY ACCESS TOUCH PRO 22

4. NÁVRH ŘEŠENÍ **23**

4.1 ZPŮSOB KOMUNIKACE 23
4.2 AKČNÍ ČLEN 23
4.3 DRIVER KROKOVÉHO MOTORU 24
4.4 MIKROPROCESOR 24
4.5 ANTÉNA 25
4.6 NAPÁJENÍ 25
4.6.1 Lineární regulátory napětí 26
4.6.2 Spínané regulátory napětí 26
4.6.3 TPS54202H 26

5. REALIZACE **28**

5.1 ŘÍDÍCÍ DESKA 28
5.1.1 Firmware 30
5.1.2 Kalibrace 31
5.1.1 Bluetooth LE 31
5.2 KONSTRUKCE PROTOTYPU 32
5.3 TESTOVÁNÍ A POROVNÁNÍ 33

5.4 NÁVOD 35
5.4.1 Instalace 35
5.4.2 Ovládání 35
ZÁVĚR 36
LITERATURA 38
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK 42
SEZNAM PŘÍLOH 44

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1 Ukázka vnitřního mechanismu zadlabacího zámku [3] 12
1.2 Západkový zámek [4] 13
1.3 Popis principu klasické cylindrické vložky [7] 14
1.4 Elektrický a elektromagnetický zámek [11] 15
1.5 Pístový a samozamykací zámek [11] 16
2.1 Architektura Bluetooth technologie [14] 19
3.1 Chytrý zámek STAR [21] 21
3.2 Lockly Access Touch Pro [23] 22
4.1 Blokové schéma řešení 23
4.2 Z leva InvertedL a InvertedF antény [31][32] 25
4.3 Doporučené zapojení TPS54202H [33] 27
5.1 Blokové schéma řídící desky 28
5.2 DPS s nanesenou pastou, osazené SMD a po přetavení 29
5.3 Blokový diagram hlavní smyčky programu 30
5.4 Blokový diagram kalibrace zařízení 31
5.5 Návrh prototypu zařízení 32
5.6 Prototyp zařízení umístěný na dveře 33
5.7 Ovládání zařízení z aplikace „ST BLE Toolbox“ 35

SEZNAM TABULEK

2.1 Typy útoků na Bluetooth komunikaci [15] 20

ÚVOD

Zámek dveří, jedno z každodenních zařízení, které potkáváme, využíváme, míjíme. Někteří nechtějí každý den hledat klíče po kapsách a odemykat a někteří z nás ani nemohou. Zařízení má být primárně určeno pro kvadruplegiky (lidé s úplným nebo částečným ochrnutím končetin a trupu).

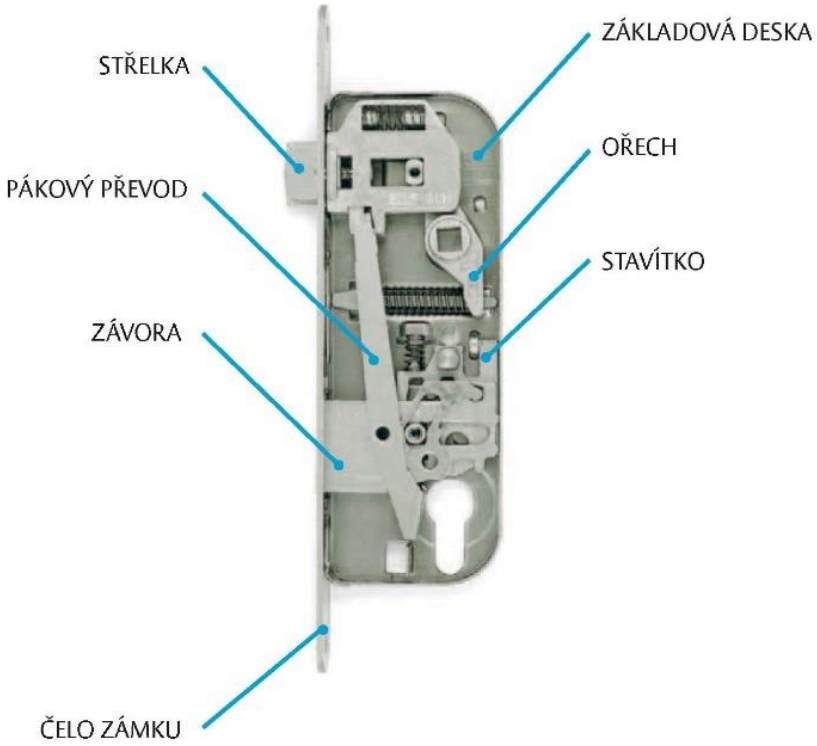
Cílem této práce je nastudovat danou problematiku a na základě nabitých poznatků navrhnout, sestavit a otestovat „Zařízení pro bezdrátové odemykání dveří“. Důraz při návrhu je kladen na instalaci bez zásahu do dveří, zárubně a bytu, cenu celého zařízení a snadné ovládání.

Bakalářská práce je rozdělena do pěti částí. Kapitola 1 popisuje vnitřní mechanismus zámku dveří a princip cylindrické vložky a nároky na její bezpečnost. Dále jsou představeny existující typy elektronických zámků využívaných ve školách, firmách aj. V kapitole 2 je popsán princip Bluetooth komunikace, její technologie, struktura a bezpečnostní složky. V kapitole 3 jsou ukázány existující řešení podobného typu a krátce uveden jejich popis. V kapitole 4 je rozepsán samotný návrh a výběr komponent zařízení. V poslední kapitole 5 je popsána realizace zařízení, tj. sestavení řídící desky a popis hlavního programu, konstrukce prototypu, testování a porovnání výsledného zařízení.

1. ZÁMKY

1.1 Základní mechanismus a pojmy dveřního zámku

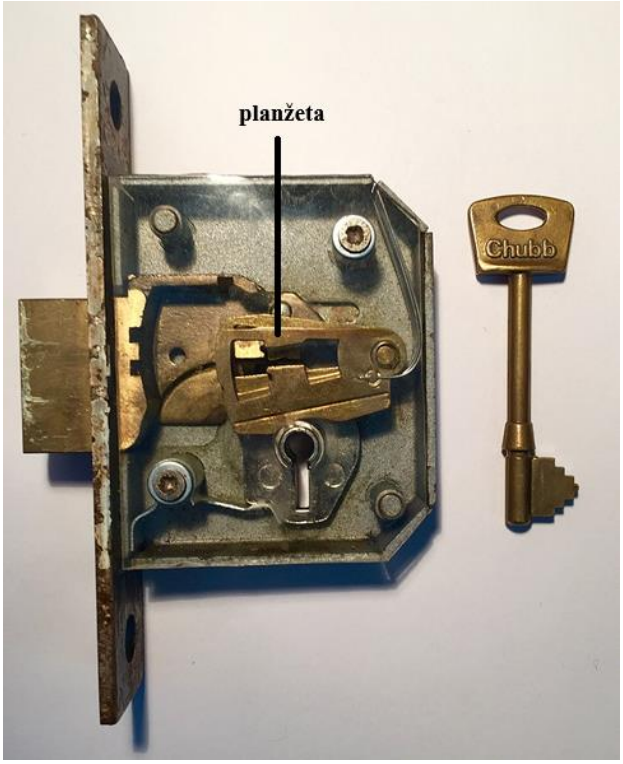
Zadlabací zámek je dnes nedílnou součástí takřka všech dveří. Za dvě hlavní části by se dala označit střelka a závora (viz obrázek 1.1). Střelka je pružinou neustále tlačena do zárubně. Po stlačení kliky zatáhne ořech střelku, a je možné otevřít dveře. Závora je buď ovládána klíčem přímo (viz kapitola 1.2.1), nebo, dnes mnohem častěji, je ovládána přes cylindrickou vložku, někdy také označována jako eurovložka (viz kapitola 1.2.2). [1][2]



Obrázek 1.1 Ukázka vnitřního mechanismu zadlabacího zámku [3]

1.2 Různé typy zámků

1.2.1 Lever lock – západkový zámek

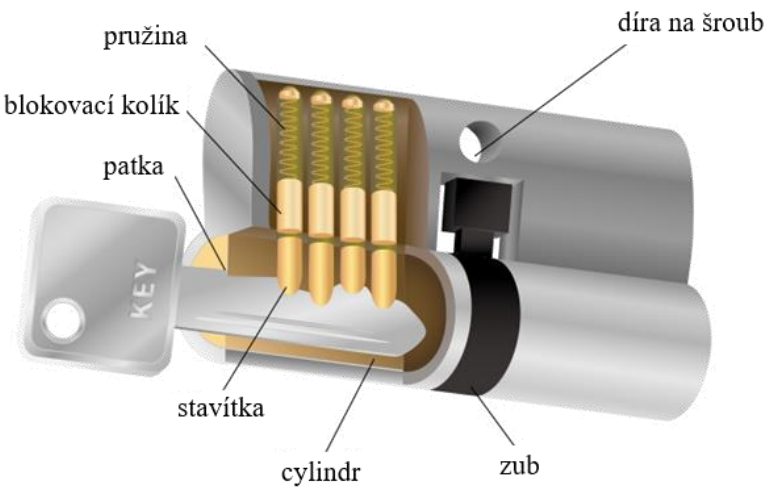


Obrázek 1.2 Západkový zámek [4]

Jeden z prvních zámků sestává z tří nebo pěti planžet (viz obrázek 1.2), které blokují závoru v pohybu. Pokud vložíme správný klíč a otáčíme jím, tak nadzvedneme planžety do takové polohy, kde je možný pohyb závory. Tím pádem dojde k odemknutí, či zamknutí. Pokud vložíme špatný klíč, planžety se zvednou málo nebo příliš a závorou nelze pohnout. [4][5]

1.2.2 Cylindrické vložky

Dnes snad nejvíce rozšířená cylindrická vložka. Počátky má v 18. století v patentech Linuse Yale Seniora a Juniora. Základní princip zůstává a je pouze vylepšován, obměňován. [1][5][6]



Obrázek 1.3 Popis principu klasické cylindrické vložky [7]

Princip klasické cylindrické vložky je následující. Otočné válcové jádro je blokováno stavítky (viz obr. 1.3). Různě dlouhé piny (válečky) odpovídající profilu klíče. Po vložení správného klíče do klíčové díry se všechna stavítka zarovnají se stěnou jádra vložky. Díky tomu je umožněno otočit klíčem celé jádro, které otočí zámkovým mechanismem a odemkne dveře. [6][1][5]

Další variantou je knoflíková cylindrická vložka. Ta má na vnitřní straně dveří umístěný tzv. knoflík namísto klíče/klíčové díry. Tato varianta je často používána na dveřích do bytu.

Cylindrické vložky a zámky se dělí podle bezpečnosti. V České republice se můžeme setkat s normou ČSN EN 1303. Ta udává několik pohledů na bezpečnost/odolnost cylindrické vložky, a to životnost, bezpečnost související s klíčem a odolnost proti napadení. [8]

Jindy se setkáme s jednodušším rozdělením 1 až 4 nebo A až D [9]

- Cylindrické bezpečnostní vložky 1. bezpečnostní třídy – základní ochrana
- Cylindrické bezpečnostní vložky 2. bezpečnostní třídy – dostatečná ochrana
- Cylindrické bezpečnostní vložky 3. bezpečnostní třídy – vysoká ochrana
- Cylindrické bezpečnostní vložky 4. bezpečnostní třídy – velmi vysoká ochrana

1.3 Elektronické zámky

1.3.1 Elektrický zámek

Také označován jako elektromagnetický zámek, elektrický otvírač aj. Je to zařízení, které, pomocí solenoidu(elektromagnetu), odjistí západku dveří a tím uvolní dveře (viz obrázek 1.4). [10]

Umisťuje se do zárubní dveří, proto musí být zárubeň buď na elektromagnetický zámek nachystána, nebo destruktivně upravena. To může být mnohdy problém, protože je zárubeň dveří pevnou součástí celé stavby/bytu. Pokud tedy lidé nechtějí zasahovat, nebo bydlí v nájmu a nesmějí, není pro ně toto řešení vhodné.

Další negativní stranou je bezpečnost. Pokud mají být dveře odjišťovány přes elektromagnetický zámek, musejí zůstat vždy odemčené a drží zavřené jen na západce a elektromagnetickém zámku.

1.3.2 Elektromagnetický přídržný zámek

Přídržné zámky jsou levné a jednoduché na instalaci a údržbu a mají dobrou životnost (viz obrázek 1.4). Jak z názvu vyplývá, jejich funkce je přidržet dveře v zavřené/zamčené poloze. Přídržná síla je přímo závislá na síle magnetu a pohybuje se přibližně od 300 do 650 kg. Dveře jsou tedy zamčené po dobu, kdy je na elektromagnet připojeno napětí, a pro jejich odemčení je nutné napětí odpojit. [10]

Jejich přídržná síla je výrazně snížena, pokud se mezi magnet a dosedací plochu dostane překážka. Tím se vytvoří vzduchová kapsa a výrazně sníží kontaktní plocha elektromagnetu. [10]

Přídržné zámky jsou určeny převážně pro hlavní a únikové vchody veřejných budov. To, jestli budou schváleny požární směrnicí, záleží na konkrétním způsobu instalace a ovládání elektromagnetu. Instalují se do dveří a zárubně, nebo na ně z vnitřní strany. Využití pro soukromé byty/domy je z předešlých důvodů nevhodné. [10]

Obrázek 1.4 Elektrický a elektromagnetický zámek [11]

1.3.3 Pístový zámek

Funkce pístových zámků se překrývá s funkcí přídržného zámku. Instalují se však častěji dovnitř dveří a zárubní. I z toho důvodu jsou spíše vhodné pro novostavby, konktrétně opět veřejné budovy a podobné, např. kancelářské objekty. [10]

Jak již vychází z názvu, hlavní částí tohoto zámku je píst (viz obrázek 1.5). Ten je bez přiloženého napětí v poloze zamčeno. K odemknutí musí být přiloženo napětí. Tím se zasune píst a odblokují dveře. Po jejich opětovném zavření musí být píst zarovnán s protikusem. O to se starají zabudované senzory, např. optozávora nebo hallova sonda. Některé modely lze též ovládat klíčem/cylindrickou vložkou. [10]

1.3.4 Elektromechanický a elektromotorický zámek

Někdy také označovány jako *„samozamykací zámky“*. Tyto dva typy jsou si na první pohled velmi podobné (viz obrázek 1.5). [10]

Elektromechanický zámek je stavěn obdobně jako klasický zadlabací zámek. S tím rozdílem, že klika z vnitřní strany ovládá jak střelku, tak závoru zámku. Z vnější strany je klika od zbytku mechanismu zcela odpojená. V momentě, kdy do zámku přijde elektrický signál, je vnější klika mechanicky propojena s mechanismem zámku. Stisknutím kliky je tak možné odemknout zámek a otevřít dveře. [10]

Elektromotorický zámek funguje z vnitřní strany stejně jako předchozí typ. Z venkovní strany je místo kliky koule. S příchozím elektrickým signálem motor zatáhne střelku a závoru. Dveře lze otevřít pouhým zatlačením/zatažením. [10]

Jak již bylo řečeno, oba typy zámků jsou samozamykací. To znamená, že po dovření dveří se automaticky zajistí závora a dveře zůstanou zamčeny do další události. [10]

Obrázek 1.5 Pístový a samozamykací zámek [11]

1.3.5 ČSN EN 14846

Norma popisuje požadavky a zkušební metody na elektrické a elektronické součásti všech typů elektromechanicky ovládaných zámků. Je určena pro zařízení uvedená na trh jako celek, nebo zařízení složená z dílů tomu určených. [12]

Kód úrovně bezpečnosti zařízení se skládá z devíti znaků. Jednotlivé symboly jsou uděleny podle výsledků konkrétních testů. Zkoušky se dělí následovně:

1) Kategorie použití

Norma rozlišuje tři třídy (1 až 3) prostředí – Podle přístupu uživatelů, udržování a správnosti používaní zařízení. [12]

2) Životnost a zatížení střelky

Životnost udává počet cyklů před selháním elektromechanicky ovládaných zámků. Kategorie je dělená na 13 tříd podle počtu zkušebních cyklů (50 000 – 200 000) a zatížení střelky (0 N–250 N). [12]

3) Hmotnost dveří a zavírací síla

Je stanoveno 9 tříd, které se určují podle hmotnosti dveří (100 kg/200 kg) a maximální zavírací síly (15 N-50 N). [12]

4) Vhodnost pro použití pro protipožární/protikouřové dveře

Zařízení vhodná pro užití jako protipožární/protikouřové jsou označena A-F, nevhodná jsou označena speciálně. [12]

5) Bezpečnost při používaní

Tato kategorie v normě ČSN EN 14846 nemá žádné požadavky. [12]

6) Odolnost proti korozi, teplotě a vlhkosti

Je stanoveno 15 tříd označených písmeny abecedy. Úroveň třídy se určuje v závislosti na úrovni odolnosti proti korozi, teplotě a vlhkosti. [12]

7) Bezpečnost a odolnost proti odvrtání

Definováno podle normy EN 12209:2003 v bližším znění [12]

8) Bezpečnost – elektrická funkce

Dělení podle existence signalizace (zvukové či vizuální). Tyto způsoby bývají využívány k indikaci stavu zámku či závory. [12]

9) Bezpečnost – elektrická manipulace

Zkouška obsahuje chování zařízení při kritických situací – Pokles napětí, přerušení kabelů, neoprávněná manipulace, reakce na elektrický výboj atd. [12]

2. BLUETOOTH

Bluetooth je technologie pro bezdrátovou komunikaci a je velmi rozšířená díky své flexibilitě, využití pro streamování hudby, lokální sdílení dat, periferiemi jako např. myš, klávesnice aj. [13][14]

Ačkoliv byla technologie Bluetooth oznámena již dříve, její první produkční verze 1.0 vyšla v roce 1999. Začala využívat bezlicenční ISM (Industrial Scientific Medicine) pásmo v rozsahu 2400,0 – 2483,5 MHz, 79 kanálů o šířce 1 MHz každý. Využívala binární frekvenční modulaci (FM) a dosahovala rychlosti až 723.2 kb/s a vzdálenosti 100 m. [14][15][16]

Jak se Bluetooth rychle šířilo oblibě, nezahálel ani jeho vývoj. Přicházeli nové verze a s nimi nové funkce. S verzí 1.2 přišlo adaptivní přeskakováni mezi kanály (Adaptive frequency hopping, inquiry-based RSSI) s rychlostí 1600 skoků/s díky čemuž je Bluetooth odolonější proti rušení v bezlicenčním pásmu. [14][15][17]

S verzí 2.0 v roce 2004 přišla funkce EDR (Enhanced Data Rate), ta oproti původní rychlosti BR (Basic Rate) využívá fázovou frekvenční modulací a dosahuje rychlosti 2,1 Mb/s, později v roce 2016 s verzí 5.0 až 48 Mb/s. [15]

2.1 Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low Energy, zkráceně BLE, je protokol uvedený v roce 2010 ve verzi 4.0 a rozděluje vývoj dvěma směry. Jak už název napovídá, BLE se snaží o co nejnižší spotřebu elektrické energie a tím se zaměřuje na bateriová zařízení, např. mobilní telefony, senzory, chytré hodinky aj. [15]

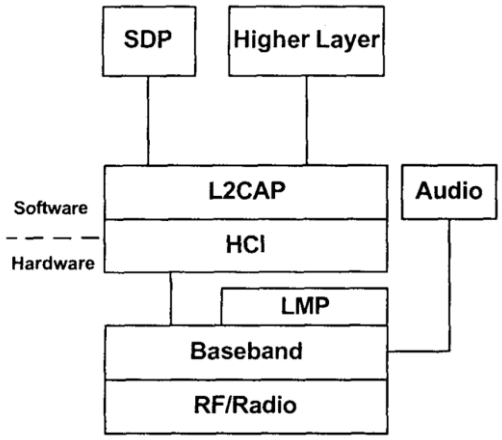
Oproti předchozí verzi využívá stejné pásmo rozdělené na 40 kanálů po 2 MHz. Jak již bylo řečeno, zaměřuje se na co nejnižší spotřebu, a to i za cenu horší přenosové rychlosti. [13]

2.2 Architektura

Bluetooth je nízko úrovňová specifikace skládající se v základu ze sedmi protokolů (viz obrázek 2.1). [14][15]

RF/Radio protokol obstarává vysílání, přijímání, modulaci a demodulaci dat, ta jsou poté zpracována skrz Baseband protokol. Ten spravuje data z pohledu korekce chyb, paketů a celkově tok dat. [15]

HCI – Host Controller Interface, posílá příkazy Baseband a LMP – Link Manager Protocolu. Mimo to také přistupuje ke kontrolním registrům a stavu hardwaru. L2CAP – Adaptation Layer Protocol zodpovídá za znovu sestavení dat přicházejících z Baseband. Následují vyšší vrstvy, kterými se již v této části nebudeme zabývat. [14][15]



Obrázek 2.1 Architektura Bluetooth technologie [14]

2.3 Bezpečnost

Jakožto velmi rozšířená komunikační síť přitahuje Bluetooth i pozornost útočníků tzv. „hackerů“. Technologie proto musí splňovat a využívat standardy a návody na kyberbezpečnost. Standard IEEE 802.15.1 a doporučení NIST 800-121-R1, která radí vývojářům, jak ověřovat zařízení se kterými probíhá komunikace.[18]

2.3.1 Bluetooth bezpečnostní opatření

Zařízení Bluetooth pracují ve čtyřech bezpečnostních módech, „Security Mode 1 (non-secure); Security Mode 2 (service level enforced security); Security Mode 3 (link level enforced security); and Security Mode 4 (service level enforced security with encrypted key exchange)“. Od módu 0, který je bez zabezpečení, po mód 4, který vyžaduje 5 úrovní zabezpečení, využívá SHA-256 hash a AES CCM kódování a Secure Simple Pairing – SSP. [18][19]

Vedle bezpečnostních módů pracuje Bluetooth ještě v tzv. Trust Modes. Trusted, Unstrusted – důvěrná a nedůvěrná zařízení. Důvěrné zařízení má neomezený přístup ke všem funkcím Bluetooth. Nedůvěrné zařízení má naopak omezený přístup k některým funkcím Bluetooth. [18]

Viditelnost Bluetooth zařízení je další bezpečnostním opatřením. Pokud je tedy zařízení viditelné, tj. v Public režimu, sdílí se svým okolím svůj název, kategorii, seznam funkcí, jiné technické informace, a hlavně unikátní identifikační 48 bitovou adresu díky které jsou jednotliví zařízení rozpoznatelná. Zařízení může pracovat i v Private režimu, tj. zařízení není viditelné, kdy spojení naváže pouze, pokud bylo již spárováno. V neposlední řadě je nejbezpečnější režim Silent, kdy zařízení pouze poslouchá okolní Bluetooth komunikaci a nepřijme žádné připojení od ostatních zařízení. [18][19]

Bezpečnost spočívá i v návrhu samotné Bluetooth technologie, a to již dříve zmíněný Frequency hopping, dále 128 bitové proudové šifrování, Private režim a možnost párování. [18]

2.3.2 Slabosti Bluetooth

Vývoj jakékoliv komunikace se od počátku potýká se snahou jiných prolomit její zabezpečení a zneužít získaných dat, či naopak injekce upravených dat. Dalo by se říci, že čím více je technologie rozšířená, tím více se jí snaží útočníci napadnout, tím více je zabezpečená a tím více zařízení ji používá. Hrozby/slabiny se dají rozdělit na tři kategorie níže. [19]

Jednoduše únik dat, kdy útočník poslouchá a dešifruje data, posílaná přes síť Bluetooth. To popisuje technika Eavesdropping, kdy třetí strana komunikace poslouchá datový tok v síti. [19]

Rozšířením této taktiky je tzv. Man-in-the-Middle – MITM, ten se dostane mezi dvě komunikující zařízení, poslouchá a upravuje, blokuje informace, než se dostanou na druhou stranu. [15][19]

V neposlední řadě je to Denial of Service – DoS, kdy útočník odesílá velké množství zpráv Bluetooth zařízení a tím velmi omezí, nebo zcela blokuje jeho schopnost komunikovat. [19][15]

Na základě těchto potencionálních slabin pak existuje velké množství útoků, přičemž každý je vhodný pro jiné účely a jiný druh zařízení. Jména některých útoků (viz tabulka 2.1). [15]

Tabulka 2.1 Typy útoků na Bluetooth komunikaci [15]

Attacks Prior to Pairing	Attacks after Pairing
BlueJacking	Backdoor
BlueSnarfing	Denial of Service (DoS)
BlueBugging	Worm
MAC spoofing	Bluesmack
Helemoto	MultiBlue
BluePrinting	Offline PIN recovery
Fuzzing	BD_ADDR
BlueBorne	Reflection/Relay

3. EXISTUJÍCÍ ŘEŠENÍ

3.1 Chytrý zámek STAR

Celým názvem *„Elektromotorický ovladač zámků STAR U009“*, je zařízení na bezdrátové odemykání dveří od značky H&B Group (viz obrázek 3.1). Umisťuje se na vnitřní stranu dveří, rotující část se nasadí na klíč, kterým následně motoricky otáčí. Statická část se nalepí na kování, nebo se přišroubuje na zámkovou vložku. [20][21]

Mezi výhody Chytrého zámku STAR zajisté patří snadná instalace bez nutnosti vrtat či jinak zasahovat do dveří, bezdrátová instalace, zabezpečená Bluetooth komunikace, možnost dalšího příslušenství a s tím spojené vzdálené ovládání díky připojení k Wi-Fi, dálkové ovládání, klávesnice i senzor pro detekci stavu dveří a v neposlední řadě také možnost nouzového otevření dveří klíčem. [21]

Nevýhody tohoto řešení jsou pak např. provoz na baterie a potřeba jejich včasné výměny, ne zcela robustní způsob uchycení zařízení ke dveřím a potřeba kompatibilní vložky, která podporuje funkci *„BSZ (vložku lze odemknout, i pokud je z druhé strany zasunutý klíč)“*. Zároveň zařízení není kompatibilní s knoflíkovou vložkou a se všemi typy kování. Odemykání klíčem není doporučeno kvůli údajné potřebě znovu kalibrovat zařízení. [21]

Celkově lze konstatovat, že Chytrý zámek STAR přináší uživatelům jednoduchý a bezpečný způsob elektronického ovládání dveří spolu s užitečnými funkcemi a možností vzdáleného přístupu.

Obrázek 3.1 Chytrý zámek STAR [21]

3.2 Lockly Access Touch Pro

Lockly Access Touch Pro je elektrický zámek dveří od mladé americké firmy s čtečkou otisku prstů. Sada obsahuje venkovní kování s čtečkou otisků prstů, samotný zámek a zařízení s Bluetooth a se zbytkem funkcí umisťující se na vnitřní stranu dveří (viz obrázek 3.2). [22][23]

Mezi hlavní výhody tohoto řešení patří čtečka otisku prstů, připojení k wifi přes externí hub, zachované odemykání klíčem a možnost výměny zámkové vložky v případě ztráty klíče. Dále možnost spravovat až 99 různých přístupů/otisků prstů a funkce automatického zamykání díky senzoru stavu dveří. [23]

Nevýhodami může pro někoho být hezký design zařízení pouze z venku dveří, vnitřní strana je v tomto ohledu o něco méně propracovaná a vzhledem k původu firmy je chytrý zámek Lockly určen pro americké dveře a v Evropě může být s jeho instalací problém. [23]

Závěrem lze shrnout, že zámek „Lockly Access Touch Pro“ je konstrukčně vcelku dobře zpracovaný a je určen jako kompletní řešení. [23]

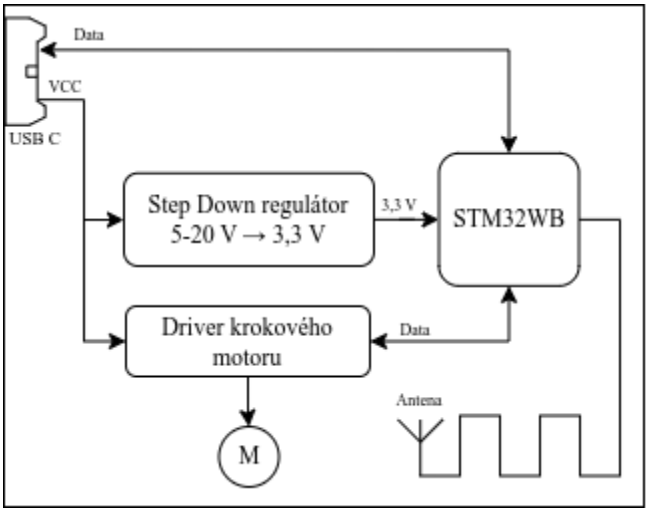
Obrázek 3.2 Lockly Access Touch Pro [23]

4. NÁVRH ŘEŠENÍ

V této kapitole budou stanoveny požadavky na navrhované zařízení, jeho vlastnosti a budou zvoleny konkrétní komponenty (viz obrázek 4.1).

Navrhované zařízení bude montováno na vnitřní stranu dveří bez jakéhokoliv nevratného zásahu do dveří, zárubně, či jiné části bytu. Bude ovládat běžně dostupnou knoflíkovou cylindrickou vložku (viz kapitola 1.2.2). Zároveň je vznesen požadavek, aby šlo cylindrickou vložku ovládat klíčem bez omezení a z vnitřní strany dveří bylo zachováno ovládání knoflíkem.

Pokyn k odemknutí bude přicházet z mobilního telefonu.



Obrázek 4.1 Blokové schéma řešení

4.1 Způsob komunikace

Hlavním požadavkem na komunikační technologii bude bezpečnost, jelikož by se v případě selhání mohla dostat neoprávněná osoba do chráněného bytu. Jako další je dosah komunikace a stabilita/stálost připojení.

Tyto požadavky nejlépe splňuje Bluetooth (BLE v5.2).

4.2 Akční člen

Základní funkce zařízení je otáčení Knoflíkovou cylindrickou vložkou. Pro správnou funkci zařízení, tedy napodobení otáčení knoflíkem rukou, je potřeba velký moment, poměrně k velikosti zařízení, a malá rychlost.

Kroutící moment nutný k otočení cylindrické vložky je dán celou soustavou, tedy vložkou samotnou, použitým zadlabacím zámkem, a dokonce i dveřmi a zárubní. Z toho důvodu tuto hodnotu není možné nikde jednoduše vyčíst a bude ji nutné změřit.

Kroutící moment lze měřit např. za pomoci páky a tenzometru nebo experimentálně zjišťovat vhodnost zvoleného akčního členu na prototypu.

Rychlost otáčení je možné odhadnout. Pokud otočení klíčem zabere 0,5 až 1 s pak je běžná rychlost otáčení cylindrické vložky přibližně 60 až 120 otáček/m.

Jako vhodný akční člen se jeví krokový motor, protože má velký poměr kroutícího momentu a rozměrů. Dále mají krokové motory pomalou rychlost otáčení, což je pro tuto aplikaci ideální.

4.3 Driver krokového motoru

K ovládání krokového motoru slouží tomu určený driver. Z široké nabídky driverů krokových motorů byla vybrána rodina TRINAMIC Motion Control od firmy Analog Devices, krátce TMC. Důvody jsou zejména široké rozšíření těchto driverů v oblasti 3D tiskáren a CNC strojů. Konkrétní typ byl vybrán TMC2209 pro svůj poměr cena výkon/funkce, které nabízí. [24]

Alternativou je driver od firmy Allegro MicroSystems A4988. Podporuje mikrokrokování 1/16 a pouze základní funkce a ochrany. Jedná se o levné řešení.

Další je driver od firmy Texas Instruments DRV8825. Má velmi podobné parametry jako předešlý driver A4988. Navíc podporuje mikrokrokování 1/32. Je ovšem mírně dražší.

Nejlépe pro toto zařízení vychází právě TMC2209. Má dostatečný výkon pro řízení běžných krokových motorů Nema 17. Podporuje mikrokrokování až 1/256. Nabízí komunikaci přes UART. Díky tomu je možné vyčítat různé hodnoty a parametry a zapisovat/konfigurovat driver a jeho módy. Např. StealthChop2™ (tichý pohyb), StallGuard4™ (detekce zátěže a tzv. přeskočení motoru) aj. [24]

4.4 Mikroprocesor

Mikroprocesor se stará o komunikaci, ověření uživatele, řízení driveru krokového motoru, aj. Požadavky jsou tudíž Bluetooth rozhraní, dostatečný výpočetní výkon pro zbylé funkce a snadná implementace.

Předběžně byl zvolen mikroprocesor STM32WB15CC dále jen STM32WB. Důležité parametry jsou jádro ARM® Cortex®-M4 a jádro ARM® Cortex®-M0 určené pro Bluetooth rozhraní BLE v5.2. [25]

Možné alternativy jsou např. Espressif ESP32 nebo Raspberry Pi Pico W.

ESP32 existuje několik verzí. Ale obecně má oproti STM32WB dvě jádra Xtensa® 32 bit LX7 a Bluetooth v5.0 nebo v5.3. ESP32 jsou oproti STM32WB více rozšířené, ale využití naleznou převážně ve wifi aplikacích. Dále jsou ESP32 známy relativně velkou spotřebou. [26]

Další varianta je od firmy Raspberry Pi. V podobě modulu Raspberry Pi Pico W s mikroprocesorem RP2040 a čipem pro bezdrátové komunikace CYW43439. RP2040 je

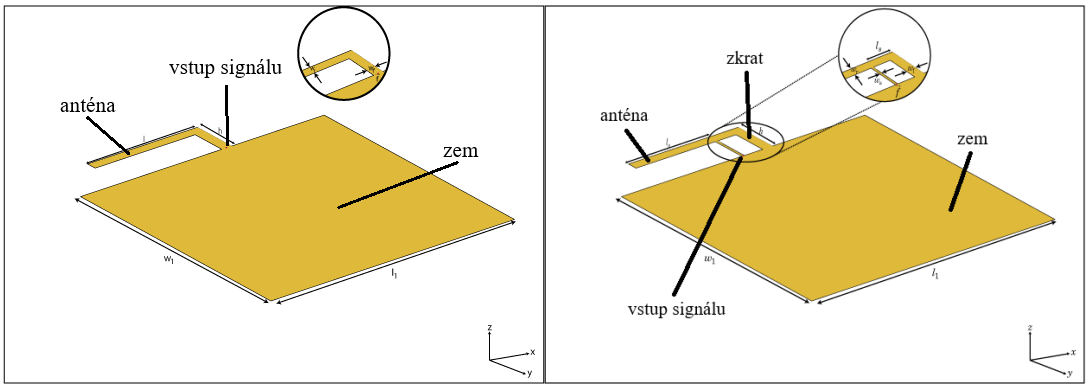
vybaven dvěma jádry ARM Cortex-M0+. CYW43439 čip podporuje Bluetooth v5.2. Jakožto produkt firmy Raspberry Pi je velmi oblíben a má kvalitní dokumentaci a základnu projektů. [27]

Mikroprocesor STM32WB se jeví vhodný pro implementaci na vyvíjenou desku plošných spojů. Pro budoucí vývoj zařízení může být výhodná nízká spotřeba tohoto čipu. Např. záložní bateriový provoz. [25]

4.5 Anténa

STM32WB potřebuje k Bluetooth rozhraní anténu, tj. anténu pro 2,45 GHz. Antény jsou děleny na SMD (keramické) antény, antény na plošném spoji a externí antény (připojení přes SMA konektor).

Zvolen je velice rozšířený typ, anténa na plošném spoji, dále PCB anténa. PCB antén je velké množství, pro Bluetooth se nejčastěji používají InvertedL a InvertedF (viz obrázek 4.2). STMicroelectronics uvádí na svém webu návod pro design PCB antény. Druh této antény je InvertedL, oproti tomu Texas Instruments má na svém webu návod pro InvertedF anténu, která má dle dostupných informací lepší vlastnosti. Konktrétně zisk a vyzařovací charakteristika antény. [28][29][30]



Obrázek 4.2 Z leva InvertedL a InvertedF antény [31][32]

4.6 Napájení

Zařízení vyžaduje dvě větve napájení, jedna pro napájení krokového motoru a jeho driveru a druhá pro napájení mikroprocesoru.

Zvolený driver TMC2206 pracuje se vstupním napětím 5,5 až 29 V. Podporovaný rozsah řídícího napětí vstupně výstupních pinů je 3 až 5,25 V. Konkrétní zvolené napájecí napění pouze mírně ovlivňuje vlastnosti řízení krokového motoru. [24]

Mikroprocesor STM32WB udává své provozní napětí od 1,71 do 3,6 V. S ohledem na požadované řídící napětí driveru TMC2206. Je zvoleno napájecí napětí mikroprocesoru standardních 3,3 V. [25]

Celé zařízení tedy bude napájeno napětím z rozsahu TMC2206. Možnosti jsou např. síťový zdroj 12 V, nebo některý z USB protokolů. Konktrétně USB Power Delivery (USB PD) nebo Qualcomn Quick Charge (QC).

Zvolen byl protokol Quick Charge. Ten, kromě standardních 5 V, dodává kompatibilním zařízením i 9, 12 a 20 V. Pro toto zařízení je dostačující zdroj s QC protokolem dodávající jakékoliv z těchto vyšších napětí.

Zařízení musí napájecí napětí (9–20 V) snížit na 3,3 V pro STM32WB. K tomu slouží spínané stabilizátory napětí nebo lineární stabilizátory napětí.

4.6.1 Lineární regulátory napětí

Lineární regulátory napětí se nejčastěji zapojují do série se zátěží. Úbytek napětí na regulátoru odpovídá rozdílu vstupního a výstupního napětí. Úbytek napětí a zátěží odebíraný proud tvoří ztráty.

Mezi nevýhody lineárních regulátoru patří nízká účinnost. Výstupem je pouze nižší hodnota napětí se stejnou polaritou.

Hlavním benefitem je velmi nízký napěťový šum. Další výhodou je snadná implementace samotného integrovaného stabilizátoru pouze s blokovacími kapacitami.

4.6.2 Spínané regulátory napětí

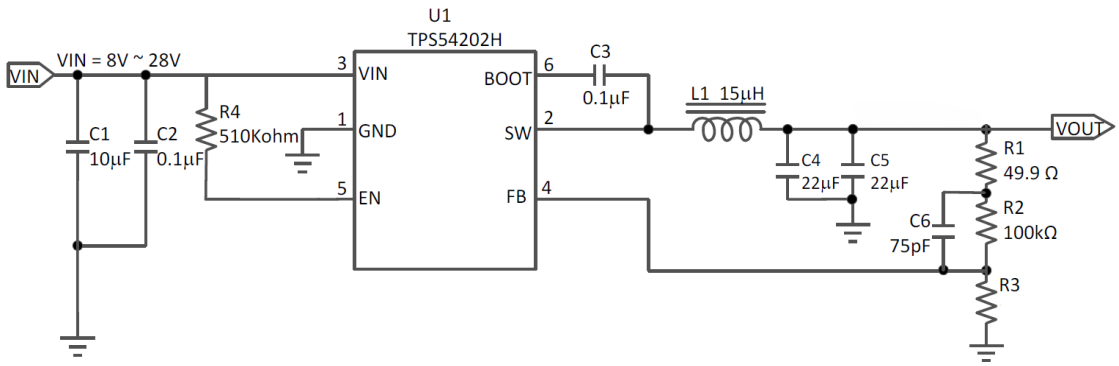
Spínaný regulátor využívá vlastností indukčnosti, kterou spíná pevně danou frekvencí. Střída je úměrná odebíranému výkonu.

Mezi výhody se řadí vysoká účinnost. Spínaný regulátor umožňuje výstupní napětí větší než vstupní. Současně může mít výstupní napětí opačnou polaritu.

Nevýhodou je vetší napěťový šum, oproti lineárnímu regulátoru, a složitější zapojení vyžadující více souvisejících součástek.

4.6.3 TPS54202H

Pro zařízení byl zvolen spínaný regulátor napětí TPS54202H od firmy Texas Instruments. Podporuje vstupní napětí 4,5 až 28 V, spínací frekvence 500 kHz, výstupní proud až 2 A a napěťový šum 30 mVpp. Schéma zapojení (viz obrázek 4.3). [33]



Obrázek 4.3 Doporučené zapojení TPS54202H [33]

Výstupní napětí se nastavuje poměrem odporů $\frac{R_2}{R_3}$ (viz rovnice (4.1)). Úpravou rovnice v je možné spočítat velikost odporu R_3 (viz rovnice (4.2)). V datasheetu je uvedena doporučená velikost odporu $R_2 = 100\ k\Omega$ a hodnota referenčního napětí $U_{ref} = 0{,}596\ V$. [33]

$$U_{out} = U_{ref} \cdot \left[\frac{R_2}{R_3} + 1\right] \tag{4.1}$$

$$R_3 = \frac{R_2 \cdot U_{ref}}{U_{out} - U_{ref}} \tag{4.2}$$

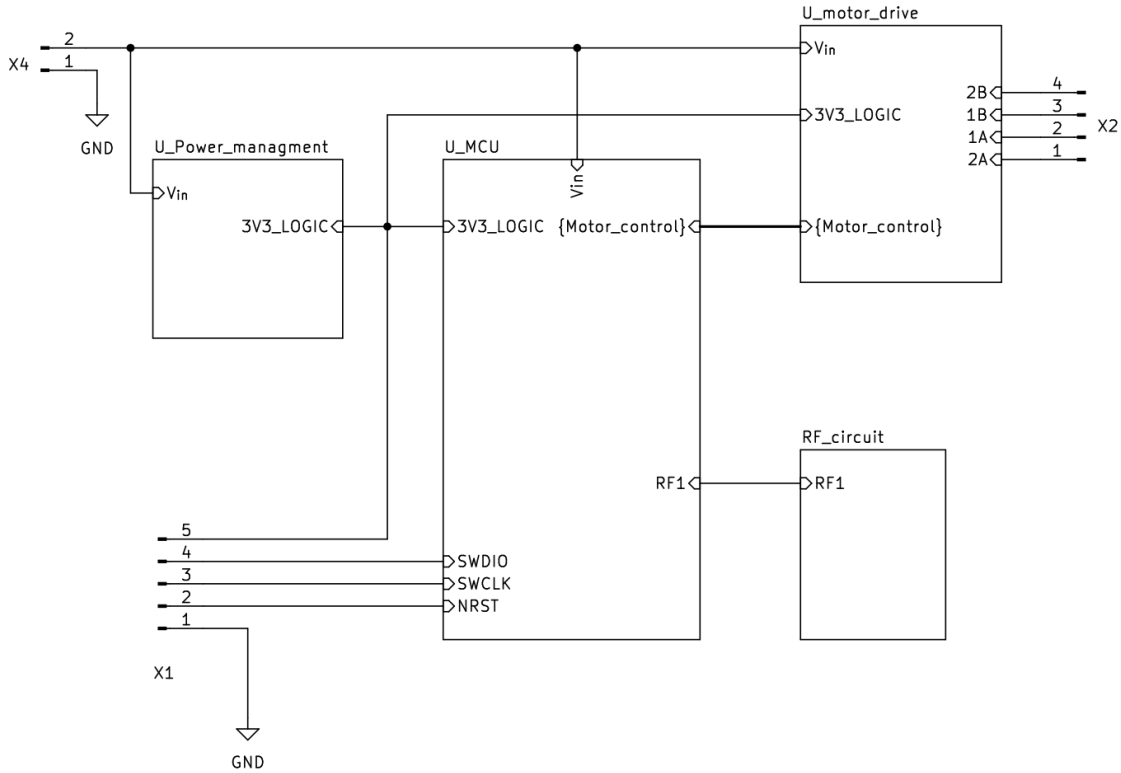
Požadavek na výstupní napětí je $U_{out} = 3{,}3\ V$. Po dosazením do rovnice (4.2) vychází $R_3 = 22{,}04\ k\Omega$. Nejbližší hodnota odporu je $R_3 = 22\ k\Omega$. Po zpětném dosazení do rovnice (4.1) vychází $U_{out} = 3{,}305\ V$. Tato hodnota je dostatečně přesná pro navrhovaný obvod.

5. REALIZACE

5.1 Řídící deska

Návrh desky plošných spojů probíhal v návrhovém prostředí Kicad 7.0. (viz. obrázek 5.1). Kompletní schéma naleznete v Příloha A - Schéma zapojení DPS.

Hlavní části obvodu jsou mikrokontroler STM32WB, řadič krokového motoru TMC2209, zdroj napětí TPS5402 a anténa. Zbytek sestává z pomocných součástek, dle doporučených zapojení v katalogových listech konkrétních součástek, a konektorů pro připojení periferií a napájení.



Obrázek 5.1 Blokové schéma řídící desky

Od původního plánu použít anténu na DPS bylo upuštěno. Tyto antény mohou nabídnout lepší vlastnosti, než lisované nebo keramické antény. Ovšem vyžadují pečlivý návrh a následné dolaďování pro konkrétní DPS, nejlépe s pomocí vektorového obvodového analyzátoru. Proto bylo přistoupeno ke komerční variantě.

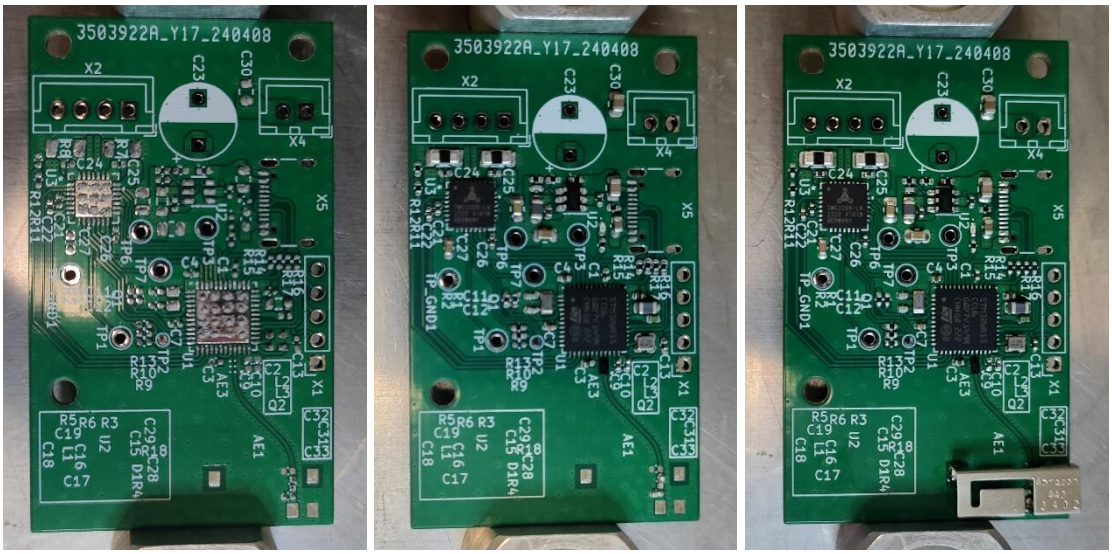
Zvolena byla lisovaná plechová anténa pro povrchovou montáž PRO-OB-440. Důvodem je snadná implementace a dobrý zisk antény.

Rozložení vrstev desky plošných spojů byl volen s ohledem na dobré vysokofrekvenční vlastnosti celé desky. Nakonec bylo rozhodnuto pro čtyřvrstvou DPS v rozložení Signál, Zem, Zem a Napájení.

Návrh desky plošných spojů probíhal umístěním všech součástek na pracovní plochu PCB editoru. Poté byly umístěny kritické součástky co nejblíže mikrokontroleru, řadiči krokového motoru a řadiči napájení. Dále byly tyto bloky vhodně rozmístěny a postupně propojeny.

Výsledkem je rozdělení desky na tři sektory, napájecí a výkonová část je na levé části DSP (na obrázku 5.2 nahoře), mikrokontroler je na středu a vysokofrekvenční část je vpravo. Toto rozmístění zajistilo, že vysokofrekvenční část je nejdále od výkonové, což by mělo mít pozitivní vliv na šíření rušení. Deska má rozměr 55x33mm.

Vyrobená deska byla osazena ručně (viz. obrázek 5.2). Nejdříve byla nanesena pájecí pasta pneumatickým dispenzerem s úzkou kapilárou, poté jsou osazeny všechny součástky na své místo, a nakonec je vše zapájeno přetavením na plotně (též hotplate).



Obrázek 5.2 DPS s nanesenou pastou, osazené SMD a po přetavení

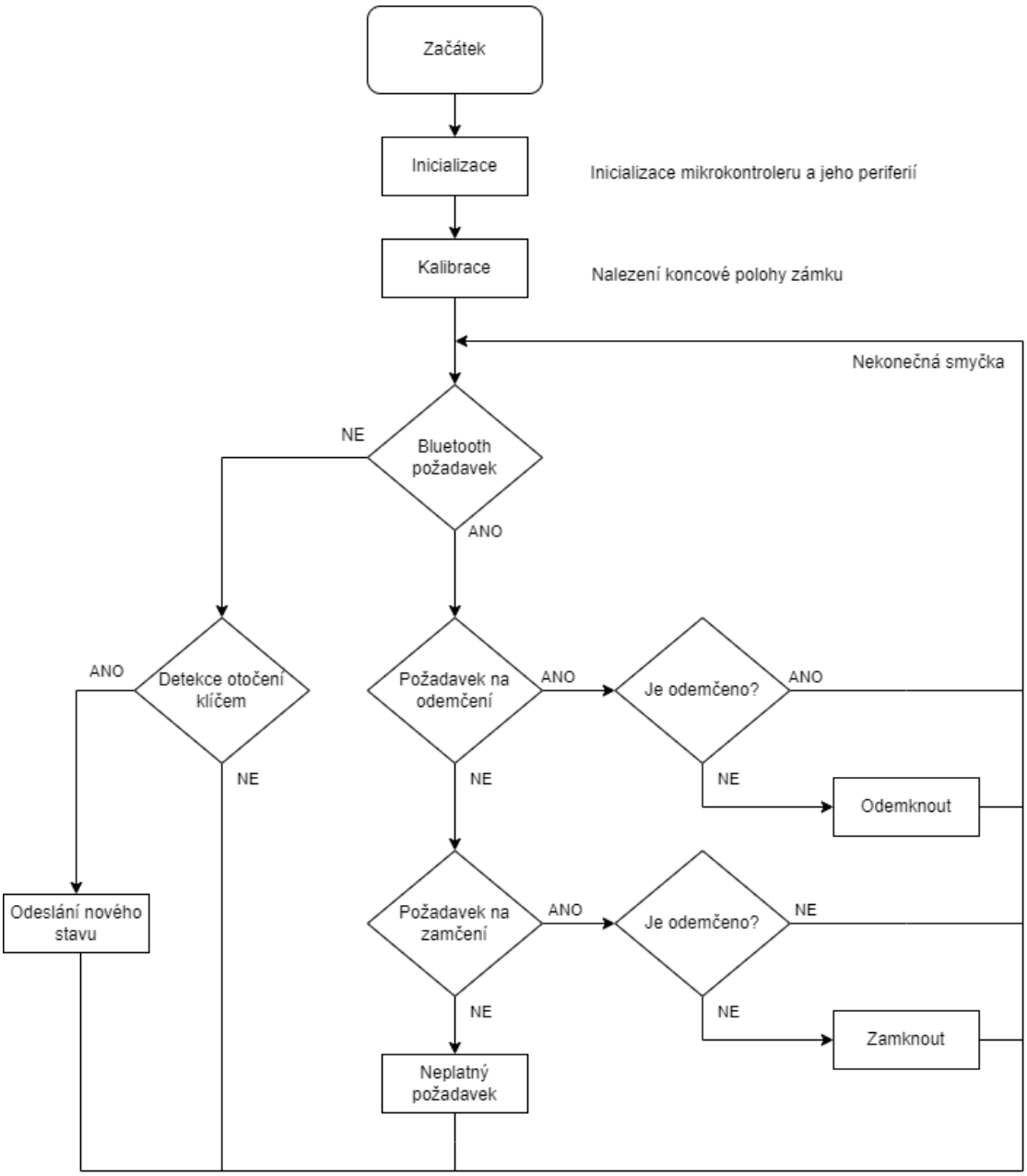
Na druhou stranu desky byly následně napájeny filtrační kondenzátory hrotovou páječkou.

Detail desky plošných spojů naleznete v Příloha B - DPS.

5.1.1 Firmware

Pro programování mikrokontroleru byl zvolen programovací jazyk C a vývojové prostředí od firmy STMicroelectronics. Konktrétně STM32CubeMX, STM32CubeIDE a STM32CubeProgrammer.

Základní struktura programu je zobrazena na vývojovém diagramu (viz. obrázek 5.3). Prvním krokem je inicializace mikrokontroleru a jeho periferií (např. BLE, RTC, UART, TIM). Následuje kalibrace popsaná v níže (viz. kapitola Kalibrace5.1.2). Nakonec se program nachází v nekonečné smyčce, kde přijímá příkazy z mobilního telefonu a na jejich základě ovládá zámek, nebo detekuje odemknutí/zamknutí klíčem.



Obrázek 5.3 Blokový diagram hlavní smyčky programu

5.1.2 Kalibrace

Kalibrace využívá funkce STALLGUARD neboli detekce zastavení (viz. obrázek 5.4) řadiče TMC2209. Tato funkce se běžně používá např. na 3D tiskárnách pro bez-senzorové zjištění výchozí polohy. Komunikace s řadičem probíhá přes UART čtením a zapisováním dat do registrů řadiče.

Řadič počítá zatížení motoru zastaví motor při překročení krajní hodnoty. Překročení indikuje změnou dat v registru a signalizuje jej na výstupním pinu.

Obrázek 5.4 Blokový diagram kalibrace zařízení

5.1.1 Bluetooth LE

O komunikaci s mobilním telefonem se stará druhé jádro mikrokontroleru. Firmware s tzv. „BLE stack“ je k dispozici na stránkách výrobce. Balíček je ve formátu .bin, aby s ním nebylo možné manipulovat. Po stažení je nahrán do mikrokontroleru pomocí softwaru STM32CubeProgrammer.

5.2 Konstrukce prototypu

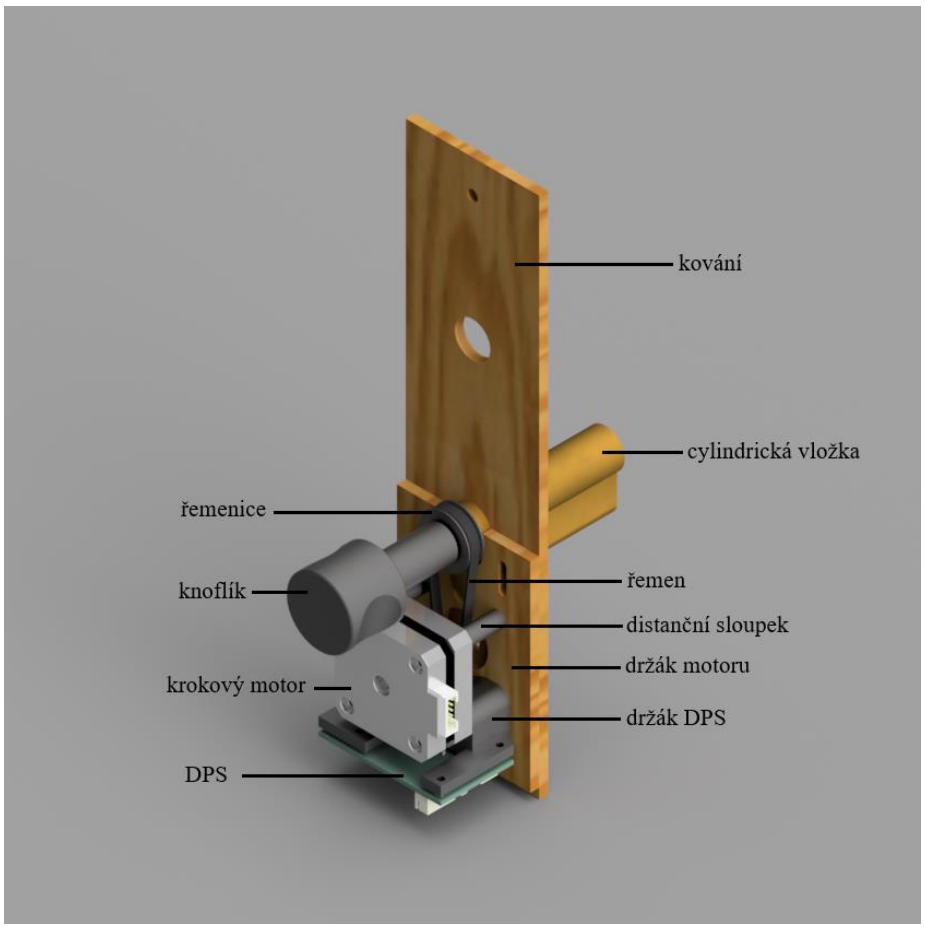
Při vytváření konstrukce byly k dispozici dvě technologie, 3D tisk z termoplastu a laserem řezaná překližka.

V návrhu konstrukce zařízení jsou použity obě zmíněné technologie. 3D tisk je ideální pro složité ergonomické tvary, jako je například knoflík zámku. Řezaná překližka se naopak hodí na ploché tvary, např. kování.

Hlavní požadavky návrhu jsou následující.

- Na vytvoření 3D modelu bude využit program Autodesk Inventor 2024.
- Instalace zařízení bude bez zásahu do dveří, tedy montáž do děr stávajícího kování (viz. obrázek 5.5).
- Jelikož je každé kování jiné, je potřeba vytvořit model parametricky, tj. změnou parametru se změní celý model bez nutnosti modelovat jej znovu.
- Správně namodelovaný přenos kroutícího momentu z motoru na cylindrickou vložku.

Typ zvolené konstrukce můžete vidět na obr. níže. Pro přenos momentu z motoru na vložku je použit řemenový převod. Ten umožňuje na jednom zařízení odzkoušet různé převodové poměry.



Obrázek 5.5 Návrh prototypu zařízení

5.3 Testování a Porovnání

Díly byly vyrobeny dle návrhu z kapitoly 5.2. Kování a držák motoru byly vyříznuty laserem z překližky. Ostatní díly (řemenice, držák DPS, distanční sloupky a knoflík) byly vytištěny na 3D tiskárně z běžného materiálu PLA.

Dále byly použity komerční díly, a to krokový motor Nema 17, řemenice GT2 – 16 zubů, cylindrická vložka (Tokoz Tech 30/25) a spojovací materiál. Prototyp byl sestaven a nainstalován na dveře podle návodu v kapitole 5.4.1.

Instalace je snadná a rychlá, poté stačí připojit napájení řídící desky a připojit mobilní telefon s aplikací „ST BLE Toolbox“ Krokový motor spolu s řemenovým převodem snadno otáčí cylindrickou vložkou a odemyká/zamyká dveře. Zároveň je bezpečný, tj. není silný natolik, aby v případě špatné instalace či jiného selhání poškodil mechanismus zámku nebo ublížil uživateli.

Obrázek 5.6 Prototyp zařízení umístěný na dveře

Mezi sestrojeným zařízením a komerčními alternativami neexistuje přímé porovnání. Navržený zámek kombinuje několik dobrých vlastností komerčních řešení. Jedná se o zařízení napájené ze sítě, a ne z baterie. Další výhodou je snadná instalace, která nevyžaduje složitější zásah do dveří.

Kde zhotovené zařízení zaostává je vizuální design a absence testování spolehlivosti. Dále k zařízení chybí mobilní aplikace, což je oblast, kde mají komerční řešení zjevně navrch.

Tato práce má potenciál stát se open-source projektem, který by mohl mít pozitivní dopad na kvalitu života společnosti. Díky levné výrobě dílů tištěných na 3D tiskárně, případně vypalovaných laserem, může být výsledné zařízení výrazně levnější než řešení nabízená na trhu. A design konstrukce se dá snadno upravit pro použití jiné cylindrické vložky.

5.4 Návod

5.4.1 Instalace

Nejprve připevníme kování na dveře pomocí vrutů a vložíme cylindrickou vložku do patřičného otvoru. Cylindrickou vložku zajistíme šroubem z boku dveří. Dále na vložku nasadíme řemenici.

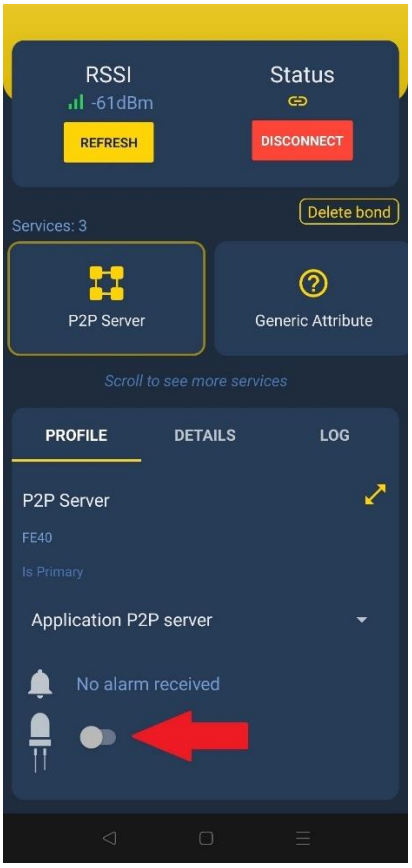
Následně na držák DPS připevníme řídící desku. Poté na krokový motor postupně namontujeme řemenici, distanční sloupky, držák DPS s řídící deskou a držák motoru.

Připravený systém opatrně nasadíme na kování. Zároveň nasazujeme řemen na obě řemenice. Celým systémem pohybem dolů napneme řemen a zajistíme držák motoru na místě.

Nakonec zapojíme kabel ke krokovému motoru. Nasadíme na cylindrickou vložku knoflík a zapojíme konektor napájení.

5.4.2 Ovládání

Zapojíme napájecí adaptér do sítě. Na mobilním telefonu otevřeme aplikaci ST BLE Toolbox. V aplikaci vyhledáme zařízení typu „ST Devices“ a uvidíme naše zařízení. Stiskneme tlačítko „Connect“. Otevřeme naše zařízení a můžeme zamykat a odemykat stisknutím přepínače dole na obrazovce.



Obrázek 5.7 Ovládání zařízení z aplikace „ST BLE Toolbox“

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo nastudovat problematiku a již existující řešení podobného typu a dále navrhnout a sestavit vlastní řešení „Zařízení pro bezdrátové odemykání dveří“. Zařízení má být primárně určeno pro kvadruplegiky (lidé s úplným nebo částečným ochrnutím čtyř končetin a trupu), kteří se svým okolím interagují pomocí hlasového asistenta.

Byla navržena DPS, která ovládá celé zařízení. Jako vhodný mikrokontroler byl zvolen STM32WB15, který má schopnost komunikovat přes BLE. Krokový motor, který otáčí zámkem je ovládán driverem TMC2209. Ten má schopnost rozpoznat koncovou polohu a sdělovat diagnostické informace přes UART do mikrokontroleru. Vysokofrekvenční část desky je tvořena dolní propustí, impedančním přizpůsobením a anténou.

Kód pro mikrokontroler je z části generovaný programem STM32CubeMX, ve kterém byly nakonfigurovány potřebné periferie, například BLE, RTC, UART a TIM. Při programování bylo využito HAL driverů. Jádrem kódu je nekonečná smyčka, která čeká na příkaz z BLE, který způsobí vystoupení z hlavní smyčky a zavolá funkci pro odemčení, nebo zamčení dveří.

Ovládání cylindrické vložky je navrženo tak, aby při poruše nedošlo k zablokování zámku. Pro tuto funkci je vhodný krokový motor, který při odpojení napájení klade jen malý odpor. Zároveň má dostatečný moment, aby i s nízkým převodovým poměrem otáčel vložkou. Převod byl realizován řemenem GT2. Přímo na cylindrické vložce je připevněn knoflík pro manuální ovládání (viz. obrázek 5.5).

Výsledné zařízení dokáže plnit svou funkci dle požadovaných nároků. To znamená, že dokáže otočit cylindrickou vložkou dveří na zaslaný příkaz přes BLE. Zároveň není zařízení přehnaně velké a bylo by možné ho snadno zabudovat do vnějšího pláště, který by vizuálně nerušil v interiéru. Zařízení bylo zkonstruováno jako prototyp, a i přes to byla odhadnuta cena na cca 700 Kč, což je přibližně polovina oproti komerčnímu řešení.

Dosaženo bylo prostudování dané problematiky a byla navržena hardwarová část zařízení (viz obrázek 4.1). Dále bylo vytvořeno schéma řídící desky a návrh DPS (viz Příloha A - Schéma zapojení DPS a Příloha B -Příloha B - DPS). Deska byla následně vyrobena, osazena a zprovozněna. Poté byl sestaven prototyp zařízení a nainstalován na dveře. Zařízení bylo otestováno s pomocí mobilní aplikace ST BLE Toolbox, ze které byly odesílány jednotlivé příkazy do řídící desky.

Do zařízení by bylo vhodné zabudovat baterii pro krytí případného výpadku napájení. Pro použití v praxi je nutné zařízení zakrytovat a vhodné navrhnout atraktivní design. Dále je potřeba naprogramovat aplikaci na mobilní telefon, ze které bude možné zařízení ovládat. Pro tuto komunikaci je nejdůležitější pečlivé zabezpečení/zašifrování BLE komunikace. Tato aplikace umožní i propojení zařízení s hlasovým asistentem. Zařízení se dá dále rozšířit implementací dalších funkcí, např. automatické zamykání.

LITERATURA

[1] BAKER, Paul a BENNY, Daniel. *The Complete Guide to Physical Security*. Online. Auerbach Publishers, 2013. ISBN 9781420099645. Dostupné z: https://www.proquest.com/legacydocview/EBC/1112600?accountid=17115. [cit. 2023-12-10].

[2] *Zámek (zařízení)*. Online. In: Wikipedie: Otevřená encyklopedie. ©2023, Datum poslední úpravy: 23. 11. 2023. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Z%C3%A1mek_(za%C5%99%C3%ADzen%C3%AD)&oldid=23402265. [cit. 2023-12-10].

[3] Jak vybrat zadlabací dveřní zámek? Online. S. 1. Dostupné z: NOVELO, https://www.novelobrno.cz/odborne-clanky/jak-vybrat-zadlabaci-dverni-zamek.htm. [cit. 2023-12-10].

[4] *Lever tumbler lock*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. ©2023, Date of last revision: 21 September 2023. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lever_tumbler_lock&oldid=1176392728. [cit. 2023-12-10].

[5] PULFORD, Graham. *High-Security Mechanical Locks: An Encyclopedic Reference*. Online. Elsevier, 2007. ISBN 9780080555867. Dostupné z: https://www.proquest.com/docview/2131939391?sourcetype=Books. [cit. 2023-12-10].

[6] BOUŠE, Richard. *Technologický postup výroby bezpečnostního klíče*. Online, Bakalářská práce, vedoucí Milan Kalivoda. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, 2016. Dostupné z: http://hdl.handle.net/11012/60264. [cit. 2023-12-10].

[7] *How does a key work?* Online. WYNNS. 2019. Dostupné z: https://www.wynnslocksmiths.com.au/how-keys-work/. [cit. 2024-01-08].

[8] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN 1303, *Stavební kování - Cylindrické vložky pro zámky - Požadavky a zkušební metody*. 2016.

[9] Jak se vyznat v nabídce cylindrických vložek. Online. 2015, s. 1. Dostupné z: https://www.kovani-design.cz/blog/jak-se-vyznat-v-nabidce-cylindrickych-vlozek/. [cit. 2023-12-10].

[10] KHAIRALLAH, Michael. *Physical Security Systems Handbook: The Design and Implementation of Electronic Security Systems*. Elsevier, c2006. ISBN 9780750678506.

[11] *Přehled typů zámků - obecný popis*. Online. Elektronické vstupní systémy s.r.o. © 2008 - 2023. Dostupné z: http://www.evssro.cz/mechanicke-zabezpecovaci-prvky-/elektricke-zamky/typy-zamku-obecne/. [cit. 2023-12-14].

[12] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN 14846, *Stavební kování - Zámky a střelkové zámky - Elektromechanicky ovládané zámky a zapadací plechy - Požadavky a zkušební metody*. 2009.

[13] *Bluetooth Technology Overview*. Online. Bluetooth®. 2023. Dostupné z: https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/. [cit. 2023-12-05].

[14] PEI, Zhang; WEIDONG, Li; JING, Wang a YOUZHEN, Wang. Bluetooth-the fastest developing wireless technology. Online. *WCC 2000 - ICCT 2000. 2000 International Conference on Communication Technology Proceedings (Cat. No.00EX420)*. Aug 2000, roč. 2000, č. 2, s. 1657-1664. ISBN 0-7803-6394-9. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/ICCT.2000.890977. [cit. 2023-12-05].

[15] ZEADALLY, Sherali; SIDDIQUI, Farhan a BAIG, Zubair. 25 Years of Bluetooth Technology. Online. *Future Internet*. 2019, vol. 11, no. 9, s. 194. ISSN 1999-5903. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/fi11090194. [cit. 2023-12-05].

[16] *Bluetooth*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, ©2023, 4 December 2023. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bluetooth&oldid=1188273165. [cit. 2023-12-06].

[17] BLUETOOTH®. *How Bluetooth® Technology Makes Wireless Communication Reliable*. Online. Bluetooth®. ©2023. Dostupné z: https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/key-attributes/reliability/. [cit. 2023-12-06].

[18] LONZETTA, Angela; COPE, Peter; CAMPBELL, Joseph; MOHD, Bassam a HAYAJNEH, Thaier. Security Vulnerabilities in Bluetooth Technology as Used in IoT. Online. *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 2018, roč. 7, č. 3, s. 1-26. ISSN 2224-2708. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/jsan7030028. [cit. 2023-12-06].

[19] IBN MINAR, Nateq Be Nazir a TARIQUE, Mohammed. Bluetooth Security Threats And Solutions: A Survey. Online. *International Journal of Distributed and Parallel systems*. 2012, roč. 3, č. 1, s. 127-148. ISSN 22293957. Dostupné z: https://doi.org/10.5121/ijdps.2012.3110. [cit. 2023-12-06].

[20] H&B GROUP S.R.O. *PROHLÁŠENÍ O SHODĚ č. 009-11-2022*. Plzeň, 2022. Dostupné také z: https://www.hbgroup.cz/images/stranky/certifikaty/STAR/Chytry-zamek-STAR-Smart-prohlaseni-o-shode.pdf.

[21] H&B GROUP S.R.O. *Chytrý zámek STAR*. Online. H&B GROUP S.R.O. H&B Group. ©2015-2023. Dostupné z: https://www.hbgroup.cz/produkt/chytry-zamek-star/#. [cit. 2023-12-08].

[22] Lockly™ Launches the World's First Patented Peek-Proof Smart Locks in Hong Kong. Online. *JUMPSTART*. 2019, s. 1. Dostupné z: https://www.jumpstartmag.com/lockly-launches-the-worlds-first-patented-peek-proof-smart-locks-in-hong-kong-2/. [cit. 2023-12-09].

[23] LOCKLY. *Access Touch Pro Fingerprint Deadbolt*. Online. LOCKLY. Lockly. © 2023. Dostupné z: https://lockly.com/products/access-touch-pro-deadbolt. [cit. 2023-12-09].

[24] TRINAMIC MOTION CONTROL GMBH & CO. KG. *TMC2209 Datasheet: POWER DRIVER FOR STEPPER MOTORS*. Online PDF. Rev. 1.09. Hamburg, 2023. Dostupné z: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/TMC2209_datasheet_rev1.09.pdf. [cit. 2023-12-12].

[25] STMICROELECTRONICS. *STM32WB15CC: Multiprotocol wireless 32-bit MCU Arm®-based Cortex®-M4 with FPU, Bluetooth® 5.2 radio solution*. Online PDF. Rev 4. 2021. Dostupné z: https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32wb15cc.pdf. [cit. 2023-12-12].

[26] ESPRESSIF SYSTEMS. *ESP32-C6 Series: Datasheet*. 2023. Dostupné z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c6_datasheet_en.pdf. [cit. 2023-12-14].

[27] *Raspberry Pi Pico and Pico W*. Online. Raspberry Pi. © 2012-2023. Dostupné z: https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/raspberry-pi-pico.html. [cit. 2023-12-14].

[28] *Monopole Antennas*. Online. MathWorks. © 1994-2023. Dostupné z: https://www.mathworks.com/help/antenna/monopole-antennas.html. [cit. 2023-12-13].

[29] TEXAS INSTRUMENTS. *Application Note AN043: Small Size 2.4 GHz PCB antenna*. Online PDF. SWRA117D. 2008. Dostupné také z: https://www.ti.com/lit/pdf/swra117?keyMatch=AN043.

[30] STMICROELECTRONICS. *AN5129: Low cost PCB antenna for 2.4 GHz radio: meander design for STM32WB Series*. Online PDF. Rev 4. 2019. Dostupné také z: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/group0/ce/a6/df/76/3e/71/45/b2/DM00470410/files/DM00470410.pdf/jcr:content/translations/en.DM00470410.pdf.

[31] *InvertedFcoplanar*. Online. MathWorks. © 1994-2023. Dostupné z: https://www.mathworks.com/help/antenna/ref/invertedfcoplanar.html. [cit. 2023-12-14].

[32] *InvertedLcoplanar*. Online. MathWorks. © 1994-2023. Dostupné z: https://www.mathworks.com/help/antenna/ref/invertedlcoplanar.html. [cit. 2023-12-14].

[33] TEXAS INSTRUMENTS. *TPS54202H 4.5-V to 28-V Input, 2-A Output, SWIFT™ Synchronous Step Down Voltage Converter*. Online PDF. April 2021. 2016. Dostupné také z: https://www.ti.com/lit/gpn/TPS54202H.

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ISM	Industrial Scientific Medicine
FM	Frekvenční modulace
RSSI	Received Signal Strength Indicator
EDR	Enhanced Data Rate
BR	Basic Rate
BLE	Bluetooth Low Energy
RF	Radio frequency
HCI	Host Controller
LMP	Link Manager Protocol
L2CAP	Logical Link Control and Adaptation Protocol
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
NIST	National Institute of Standards and Technology
SHA	Secure Hash Algorithm
AES	Advanced Encryption Standard
CCM	Counter with cipher block chaining message authentication code
SSP	Secure Simple Pairing
MITM	Man-in-the-Middle
DoS	Denial of Service
MAC	Media access control
PIN	Personal identification number
BD_ADDR	Bluetooth Device Address
M	Motor
TMC	TRINAMIC Motion Control
CNC	Computer numerical control
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
STM	STMicroelectronics
ARM	Advanced RISC Machines
RISC	Reduced instruction set computer
SMD	Surface Mount Device
SMA	SubMiniature version A
PCB	Printed circuit board
USB	Universal Serial Bus

PD	Power Delivery
QC	Quick Charge

Symboly:

U	napětí	(V)
I	proud	(A)
R	odpor	(Ω)
F	síla	(N)
m	hmotnost	(kg)
f	frekvence	(Hz)
t	čas	(s)

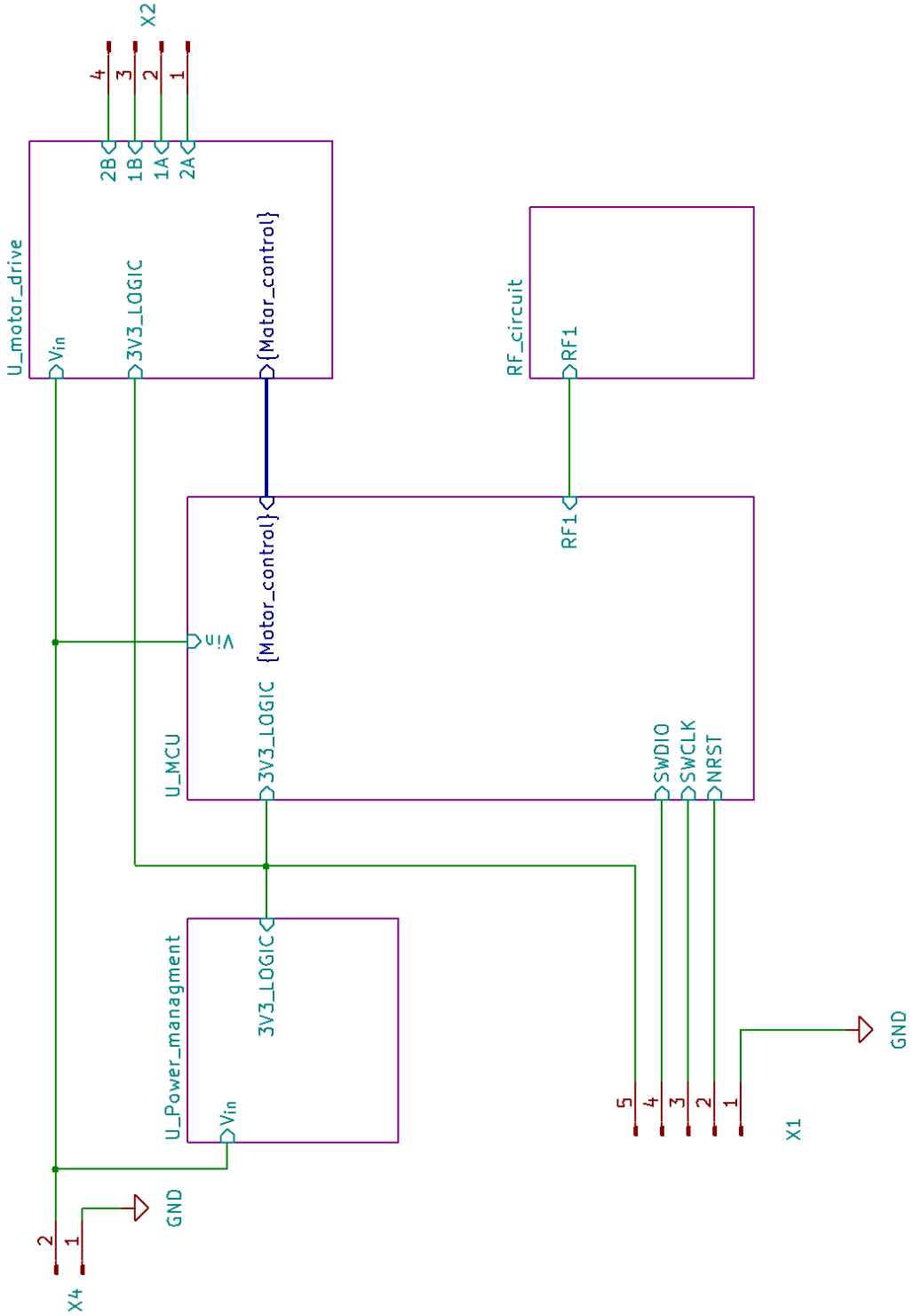
SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - SCHÉMA ZAPOJENÍ DPS 45

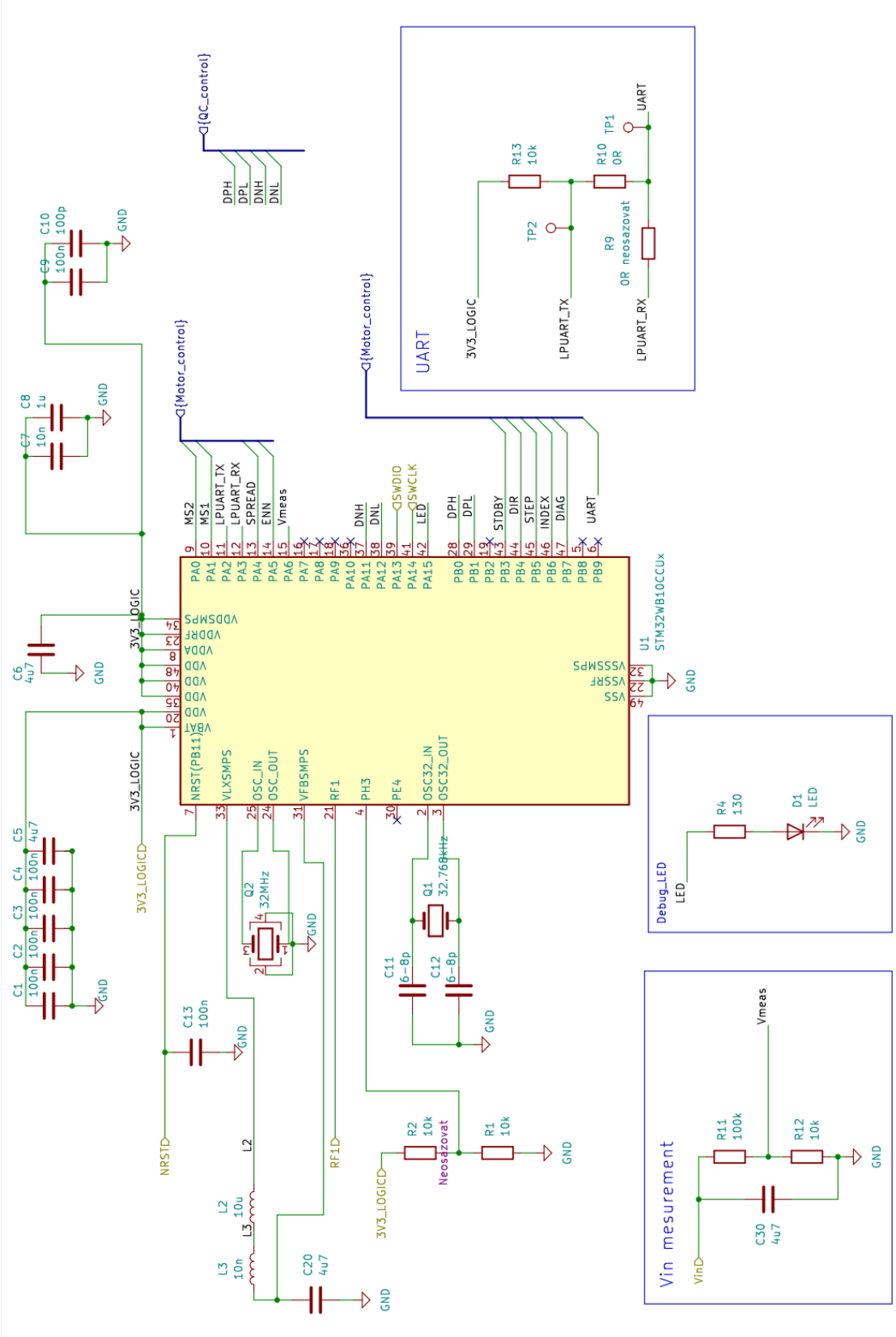
PŘÍLOHA B - DPS 51

Příloha A - Schéma zapojení DPS

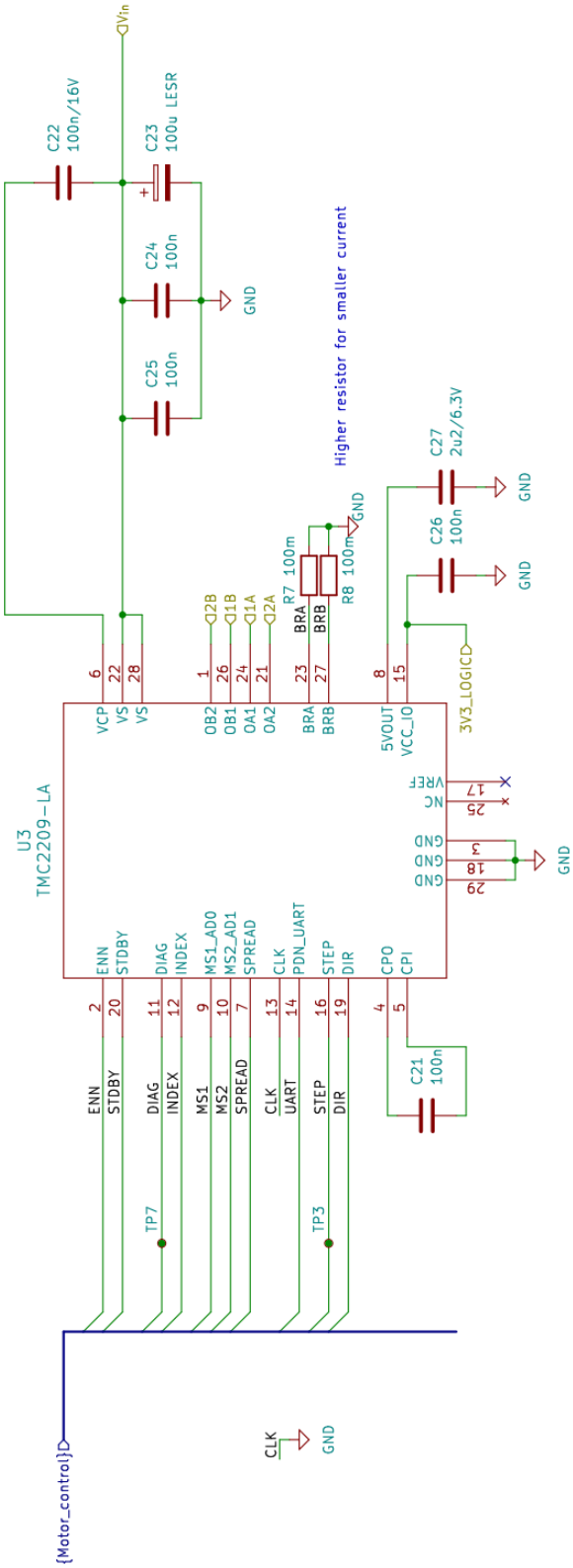
A.1 Hlavní schéma



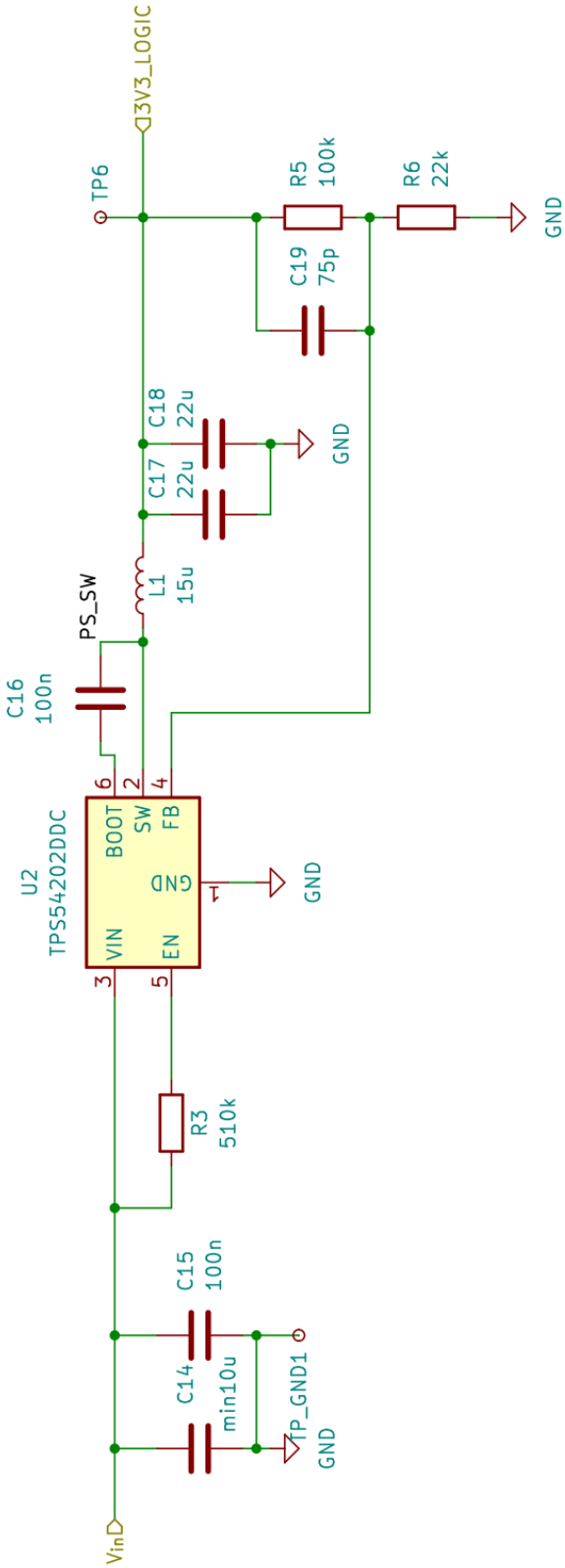
A.2 U_MCU


U1
STM32WB10CCUx
{QC_control}
DPH
DPL
DNH
DNL
{Motor_control}
MS2
MS1
LPUART_TX
LPUART_RX
SPREAD
ENN
Vmeas
SWDIO
SWCLK
LED
STDBY
DIR
STEP
INDEX
DIAG
UART
3V3_LOGIC
NRST(PB11)
VLXSMPS
OSC_IN
OSC_OUT
VFBSMPS
RF1
PH3
PE4
OSC32_IN
OSC32_OUT
NRST
Q1
32.768kHz
Q2
32MHz
L2
L3
UART
TP1
TP2
R13
10k
R10
0R
R9
0R neosazovat
Debug_LED
R4
130
D1
LED
Vin mesurement
VinD
R11
100k
R12
10k
C30
4u7
R2
10k
Neosazovat
R1
10k
C11
6-8p
C12
6-8p
C13
100n
C20
4u7
C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7
C8
C9
C10
GND

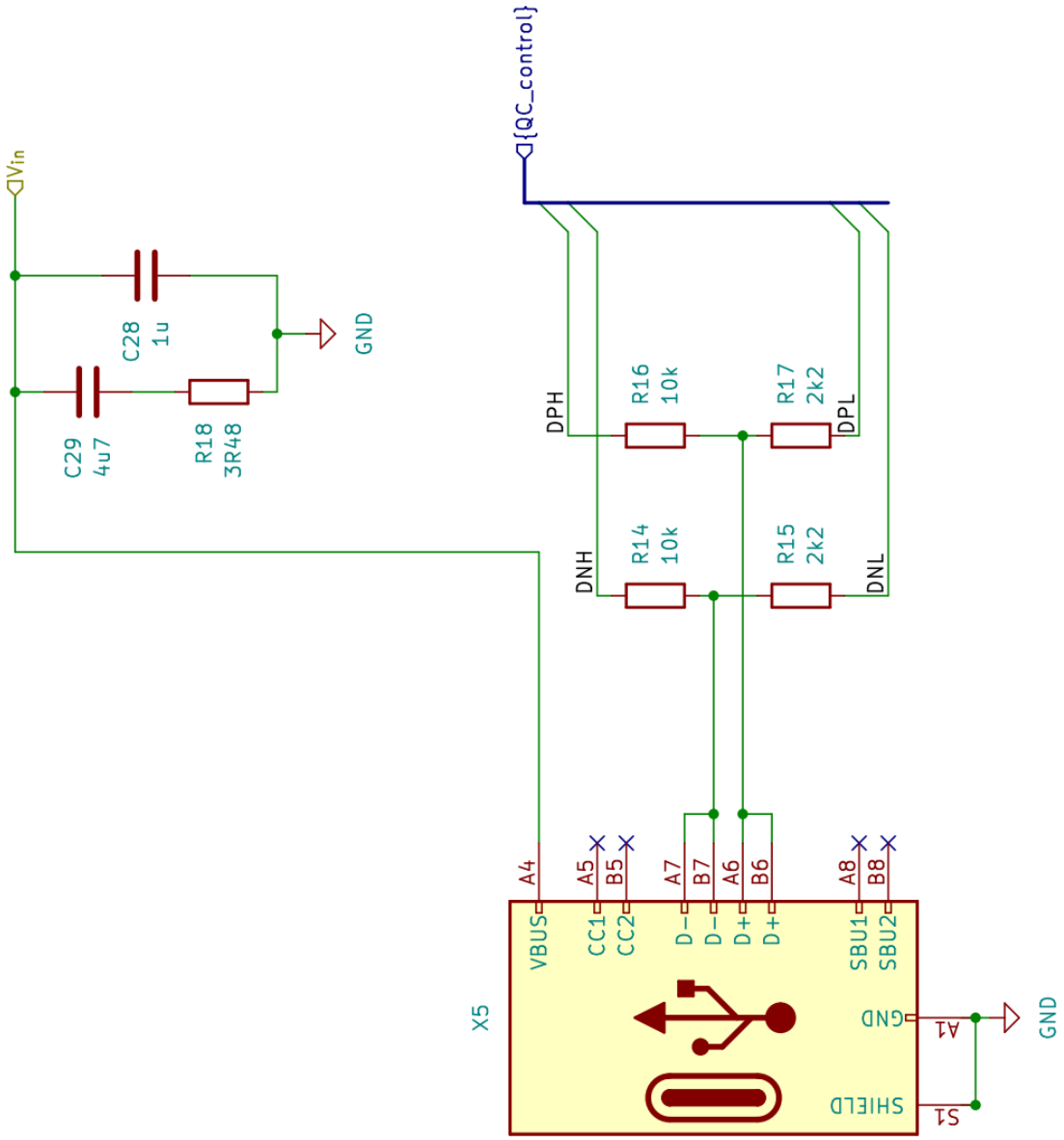
A.3 U_motor_drive



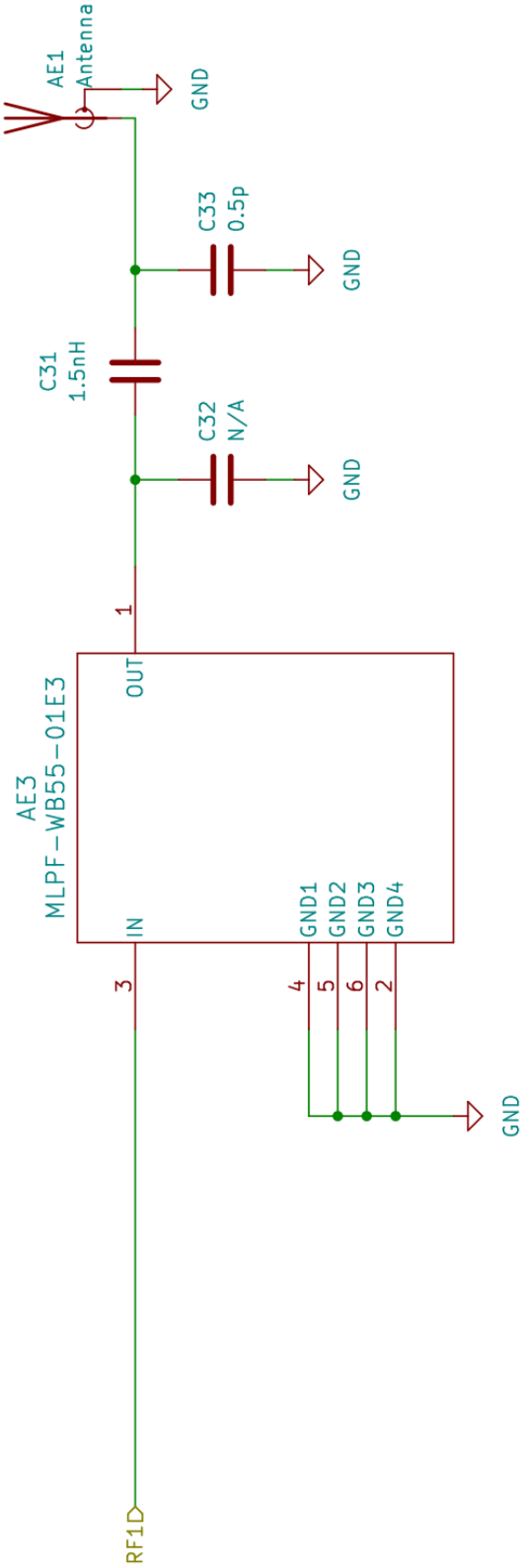
A.4 U_Power_managment



A.5 USBC

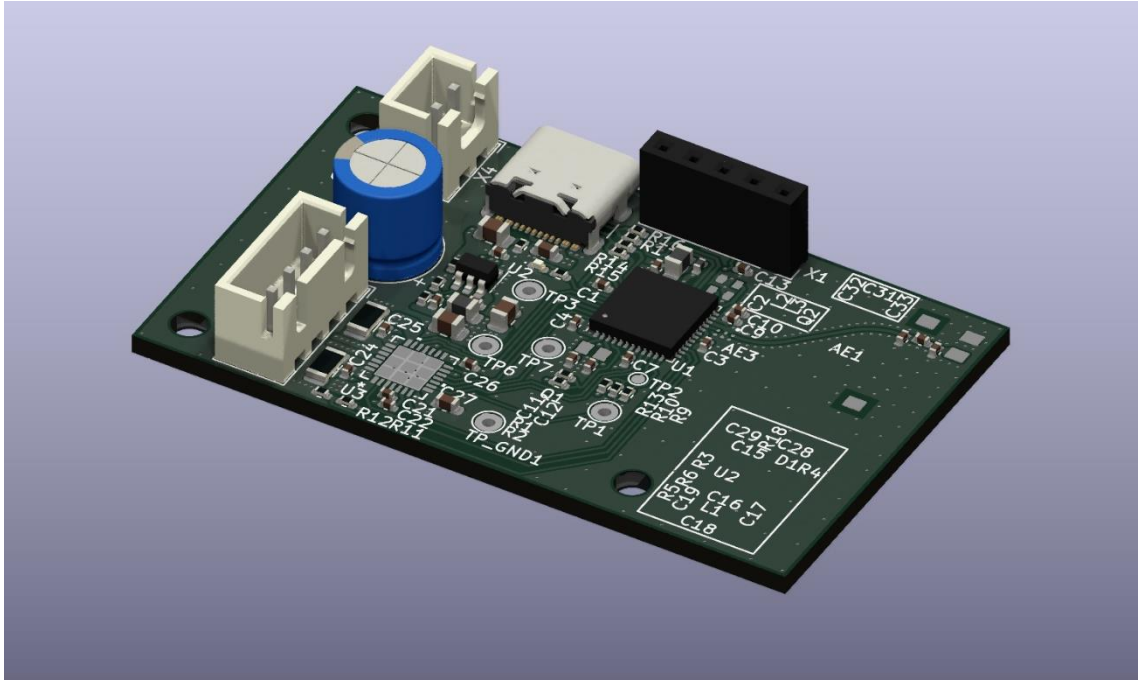

Vin
C28
1u
C29
4u7
R18
3R48
GND
{QC_control}
DPH
R16
10k
R17
2k2
DPL
DNH
R14
10k
R15
2k2
DNL
X5
A4
VBUS
A5
CC1
B5
CC2
A7
D−
B7
D−
A6
D+
B6
D+
A8
SBU1
B8
SBU2
GND
A1
SHIELD
S1
GND

A.6 RF_circuit

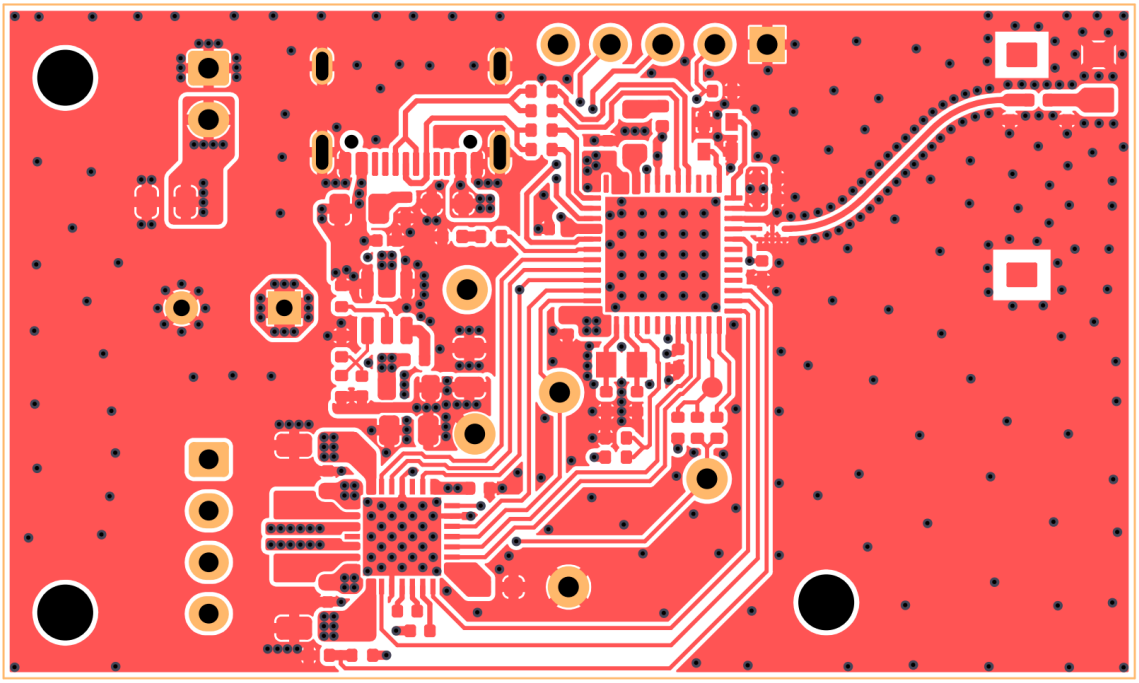


Příloha B - DPS

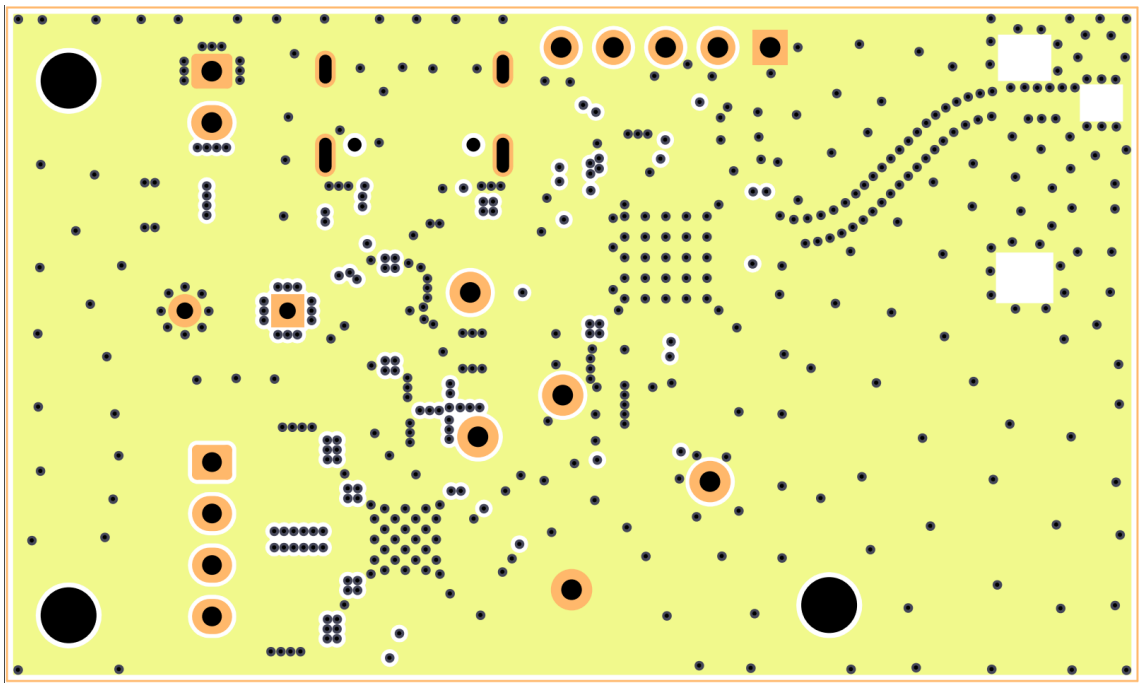
B.1 3D pohled



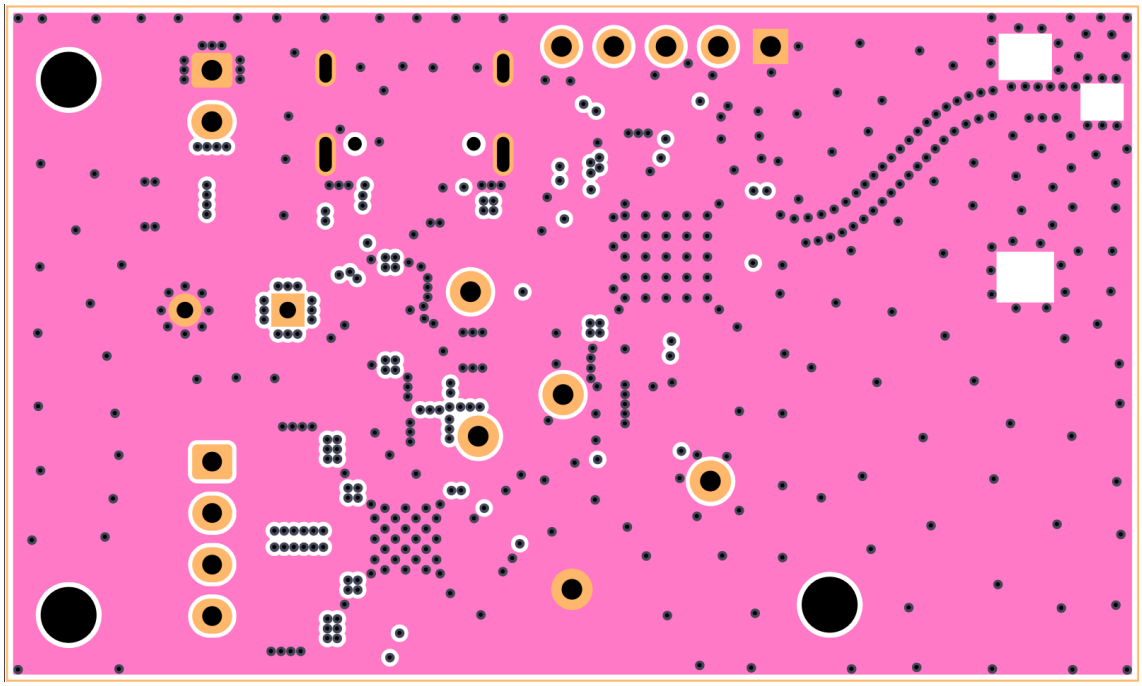
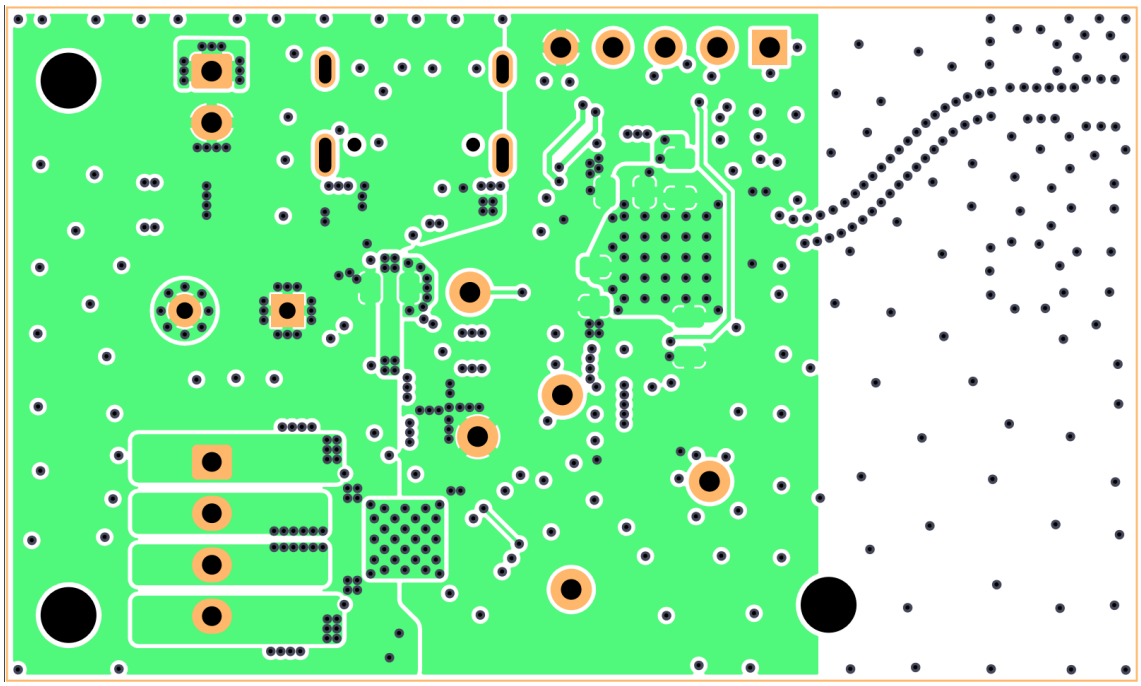
B.2 Primární strana – signál



B.3 Vnitřní strana 1 – GND



B.4 Vnitřní strana 2 – GND



B.5 Sekundární strana – U_{CC} a U_{3V3}