



STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Nadstavbová deska pro robota Pololu 3pi

AUTOR Petr Bobčík

ŠKOLA SPŠ a VOŠ technická Brno, Sokolská 1

KRAJ Jihomoravský

OBOR 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Brno 2017



STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

NADSTAVBOVÁ DESKA PRO ROBOTA POLOLU
3PI

SUPERSTRUCTURE BOARD FOR ROBOT POLOLU 3PI

AUTOR Petr Bobčík

ŠKOLA SPŠ a VOŠ technická Brno, Sokolská 1

KRAJ Jihomoravský

ŠKOLITEL Jaroslav Páral

OBOR 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Brno 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že svou práci na téma Nadstavbová deska pro robota Pololu 3pi jsem vypracoval samostatně pod vedením Jaroslava Párala a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Dále prohlašuji, že tištěná i elektronická verze práce SOČ jsou shodné a nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a změně některých zákonů (autorský zákon) v platném změní.

V Brně dne

Podpis:



Poděkování

Děkuji svému školiteli Jaroslavu Páralovi za obětavou pomoc, podnětné připomínky a nekonečnou trpělivost, kterou mi během práce poskytovala. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jakubovi Streitovi a Ing. Jiřímu Váchovi, za technickou pomoc při práci.

Děkuji Robotárně (pobočka pod organizaci Dům dětí a mládeže Brno, Helceletova) za poskytnutí zázemí a prostředku při tvorbě této práce.

Tato práce byla provedena za finanční podpory Jihomoravského kraje.

Anotace

Cílem této práce je návrh nadstavbové desky (shieldu) pro robota Pololu 3pi, se kterým jsem se seznámil již v prvním ročníku na střední škole. Konstrukce robota je od výrobce optimalizována na soutěžní disciplínu „sledování čáry“, kde robot dosahuje výborných výsledků a nemá mezi komerčně dostupnými produkty konkurenci. Ovšem při složitější variantě této disciplíny “najdi čáru“, kde dráha obsahuje rozpojky, odbočky, nebo překážky, není možné s ním závodit. Můj shield může posloužit, kromě možné účasti na soutěžích, také ve výuce. V ní si student může robota sám naprogramovat. Přidáním různých funkcí a senzorů bude robot univerzálnější než doposud.

Práce řeší rozšíření možností využití robota Pololu 3pi návrhem nadstavby s doplňkovými funkcemi. Přidané funkce umožňují robotovi snímat podněty ze svého okolí. Další navrženou částí je nárazník pro ochranu před mechanickým poškozením, ke kterému v praxi velmi často dochází.

Klíčová slova

Nadstavbová DPS, shield, nadstavba pro 3pi, DPS, Pololu 3pi, 3pi

Annotation

The purpose of this paper is to show a construction concept of a shield for robot Pololu 3pi, which is mostly known for its ability to move swiftly and its commercial availability. Robot's construction is mainly intended for specific competitive event called 'Line Follower'. In this task robot excels. Therefore there is no other commercial available robot like that. The biggest disadvantage as it is single purpose machine is shown during lectures, where students are given chances to experiment with the robot. Every attempt to use robot for different task brings a lot of problems.

These problems are resolved by creating electronic board, allowing robot to sense surrounding. Also special bumper was designed to prevent physical damages during normal usages.

Keywords

Superstructural DPS, shield, superstructure for 3pi, DPS, Pololu 3pi, 3pi

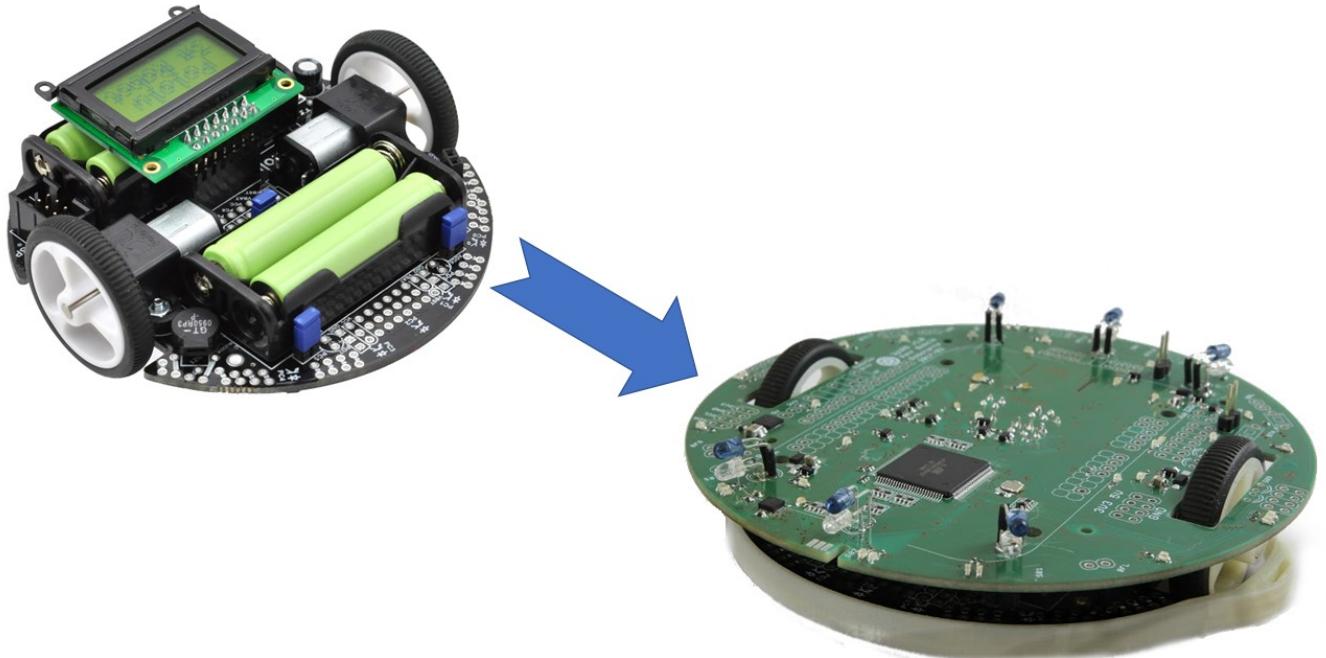
Obsah

ÚVOD.....	8
1 PŘEDSTAVENÍ VYUŽITÝCH PLATFOREM	9
1.1 ROBOT POLOLU 3PI.....	9
1.2.1 <i>Charakteristika robota.....</i>	9
1.3.1 <i>VÝBAVA</i>	9
1.3.2 <i>ATmega328P</i>	10
1.1 ARDUINO A MBED	11
2 KONCEPCE PROJEKTU	13
2.1 <i>Využité součásti.....</i>	14
3 SCHÉMATA	15
3.1 <i>Zapojení CPU</i>	15
3.1.1 <i>Napájení CPU.....</i>	18
3.1.2 <i>Zapojení krystalu</i>	19
3.1.3 <i>SPI komunikace mezi CPU a UP</i>	19
3.1.4 <i>USB</i>	20
3.1.5 <i>Programovací konektor</i>	20
3.1.6 <i>Enkodéry.....</i>	21
3.1.7 <i>UART komunikace mezi CPU a 3pi.....</i>	22
3.1.8 <i>Digitální signály</i>	22
3.1.9 <i>Analogové signály.....</i>	23
3.2 <i>Zapojení UP</i>	24
3.2.1 <i>Napájení UP.....</i>	24
3.2.2 <i>Detekce připojené rozšiřovací desky.....</i>	24
3.2.3 <i>Komunikace s BT modulem.....</i>	25
3.2.4 <i>SPI a UART komunikace mezi CPU a UP.....</i>	25
3.3 <i>INFRAČERVENÉ SENZORY</i>	26
3.3.1 <i>Vysílač.....</i>	26
3.3.2 <i>Přijímač.....</i>	27
3.4 <i>POHYBOVÉ SENZORY</i>	27
3.4.1 <i>Inerciální polohová jednotka (IMU).....</i>	27
3.4.2 <i>Indukční senzor</i>	28
3.4.3 <i>Enkodéry</i>	30
3.5 <i>KOMUNIKACE</i>	32
3.5.1 <i>Komunikace mezi CPU, bluetooth a UP</i>	32
3.5.2 <i>Displej nacházející se na Pololu 3pi</i>	32
3.6 <i>NAPÁJENÍ</i>	33
3.6.1 <i>Baterie a ochrana proti přepólování</i>	33
3.6.2 <i>Spínání celkového napájení</i>	34
3.6.3 <i>Měření napětí na bateriích</i>	34
3.6.4 <i>Měření proudu</i>	35
3.6.5 <i>Spínání napájení pro 3pi</i>	36
3.7 <i>NABÍJENÍ</i>	36
3.7.1 <i>USB a nabíjecí čip</i>	36
3.8 <i>STABILIZATORY</i>	37
3.8.1 <i>Step-up</i>	37
3.8.2 <i>Stabilizátor 3V3</i>	38
3.8.3 <i>Stabilizátor AREF</i>	38
3.8.4 <i>Signalizační LED</i>	39
3.8.5 <i>LED_0 – LED_7</i>	39

3.8.6	<i>Signalizační LED pro konkrétní využití</i>	39
4	PROBLÉMY VZNIKLÉ PŘI NÁVRHU NADSTAVBOVÉ DESKY	41
4.1	JAKÝ POUŽÍT NÁRAZNÍK	41
4.2	JAKOU ZVOLIT VELIKOST A TVAR SHIELDU	44
4.3	VÝBĚR A UMÍSTĚNÍ MAGNETU PRO ENKODÉR	45
4.4	JAK UMÍSTIT IR SENZOR	47
4.5	KOLIK POUŽÍVAT IR SENZORŮ, POPŘÍPADĚ, JAK JE ROZMÍSTIT	48
5	ROUTOVÁNÍ	49
5.1	VYTVOŘENÍ OBRYSU	49
5.2	UMÍSTĚNÍ SOUČÁSTEK, U KTERÝCHZNÁME PŘESNOU POLOHU	49
5.3	UMÍSTĚNÍ AVR XMEGY	50
5.4	NAPÁJENÍ	51
5.5	ZAROUTOVANÁ KOMUNIKACE A SPÍNÁNÍ IR LED	52
	ZÁVĚR	53
	LITERATURA	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ	56
	SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK	58
	PŘÍLOHY	59

Úvod

Obsahem mé práce je návrh nadstavbové desky (shieldu) pro robota Pololu 3pi. Ten je navržen na standardní variantu soutěžní disciplíny „sledování čáry“, kde je jeho úkolem uzpůsobit svoji trajektorii jízdy černé čáře, po které jede. V poslední době se ale zmíněná disciplína výrazně ztížila. Byly přidány rozdvojení, křížovatky, přerušení a překážky. Pololu 3pi neobsahuje funkce, potřebné na tuto soutěž, proto jsem se je rozhodl přidat.



Obrázek 1: Celkový pohled na finální verzi robota

Proto jsem se rozhodl vytvořit nadstavbovou desku, která by mu umožnila účast na složitější variantě již zmíněné disciplíny nebo soutěži „myš v bludišti“.

Robota s tímto shieldem lze využít také při výuce. Můžeme na něm názorně ukázat funkčnost přidaných senzorů, a také zjednodušit tvorbu studentských projektů. Propojení teorie s názornou ukázkou je vždy lepší než pouhá teorie.

Práci jsem rozdělil do čtyř kapitol. V první popisuji základní model robota 3pi. Druhá je zaměřena samotné schéma desky. V třetí se věnuji popisu a následnému řešení problémů, které se při návrhu objevily. Do poslední jsem zařadil průběh routování a následné výroby.

Můj shield budou moci využívat jak pokročilí uživatelé, kteří s robotem Pololu 3pi pracovali, tak i úplní začátečníci.

1 Představení využitých platforem

1.1 Robot Pololu 3pi

V této kapitole popisuji výbavu a využití robota Pololu 3pi a stručně popsána disciplína, na níž je uzpůsoben, a která je v České republice nejrozšířenější.



Obrázek 2: Pololu 3pi (1)

1.2.1 Charakteristika robota

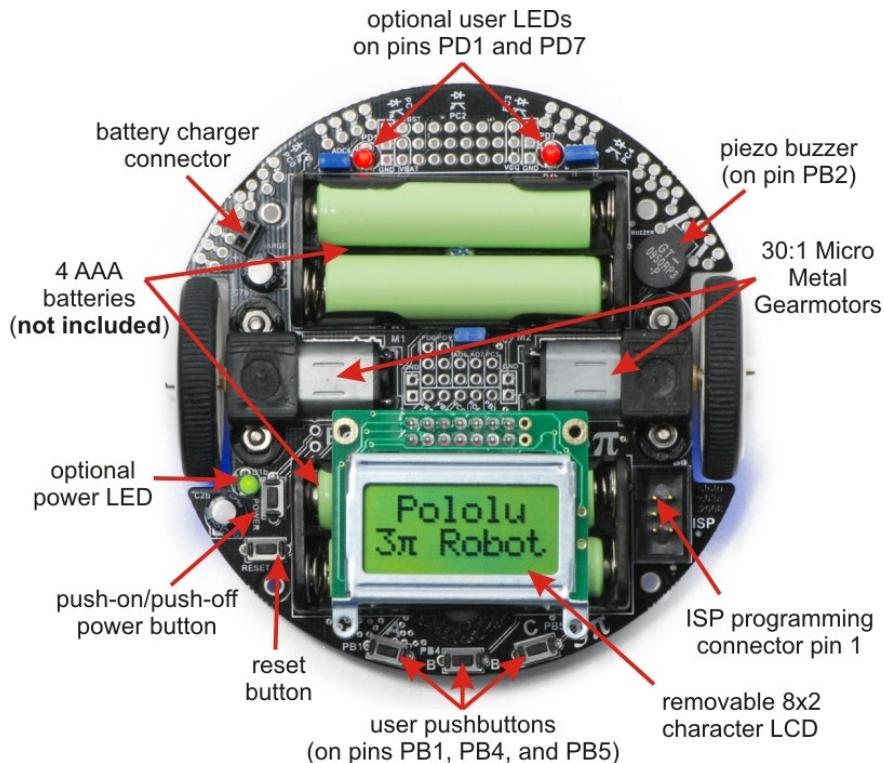
Pololu 3pi, viz obrázek 2 je velmi rychlý komerčně dostupný soutěžní robot, určený na disciplínu s názvem sledování čáry, která je v České republice velmi populární. Z toho důvodu nechybí skoro na žádné soutěži. Pololu 3pi je vhodný pro začínající programátory, kteří se chtějí od začátečních robotů, jako například legových ze stavebnice Mindstorm, posunout o kousek dále a mají zájem naučit se programovací jazyk C++. Také pokročilí programátoři, hledící na výkon a rozměry, jej ocení. Jeho průměr je 95 mm (odtud dostał název 3pi) a hmotnost 83 g (bez baterií). Uvedené proporční vlastnosti znatelně pomáhají k dobrému zrychlení.

1.3.1 Výbava

Mezi základní a nepostradatelnou výbavu, kterou Pololu 3pi obsahuje, jsou dva stejnosměrné elektromotory. Ty umožní dosáhnout rychlosti až 1 m/s. (1) Dále má také programovatelný mikrokontrolér ATmega328P, dvě pouzdra na baterie, kde jedno pojme dvě AAA. Také pět reflexních senzorů, umožňující efektivní a přesné sledování čáry. Velmi užitečným prvkem, který obsahuje, je displej. Ten dokáže zobrazit informaci na dva řádky a na každý z nich 8 znaků. Pro rozmanitější programování je možné využít pět tlačítek, která jsou umístěna.

1.3.2 ATmega328P

Mikrokontrolér ATmega328P od firmy Atmel pracuje na frekvenci 20 MHz, obsahuje 32 kB programovatelné FLASH paměti, 2 kB paměti RAM (operační paměť) a 1 kB softwarově nastavitelné EEPROM paměti. Obsahuje GNU C/C++ kompilátor, díky kterému není třeba programovat v assembleru. Procesor lze programovat přes programátor nebo bootloader¹. K psaní kódu je k dispozici vývojové prostředí Atmel Studio. Použitím vhodných knihoven je možné jednotlivé příkazy, například nastavení rychlosti, aktivování či deaktivování senzorů atd., pouze zavolat. Díky tomu je uživatel ušetřen od práce s registry a náročným nastavováním všech periferií robota.



Obrázek 3: Pohled na Pololu 3pi ze shora (1)

¹ Bootloader je software, který se nahraje do čipu pomocí tzv. programátora. Po nahrání již může uživatel programovat jen pomocí sériové linky.

1.1 Arduino a Mbed

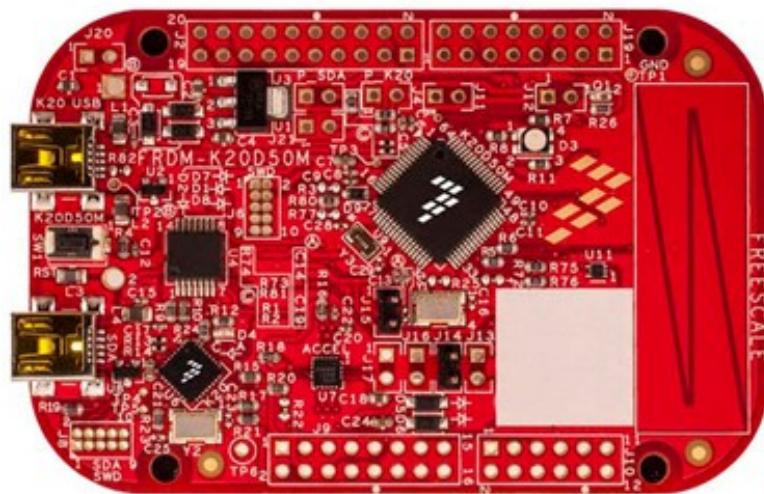
Jedná se o open-source platformu (2), která je založena na jednoduchém uživatelském hardwaru a softwaru, zaměřená na programování jednočipů. Je to jedna z nejrozšířenějších platform tohoto typu a má velkou komunitu uživatelů, především díky jednoduchému realizování vlastních projektů. Využívají ji bastlíři, domáci kutilové a další. Má spoustu provedení, které se liší využitým procesorem či senzory, které obsahuje. Arduino UNO je zobrazeno na obrázku 4.



Obrázek 4: Arduino UNO (3)

Mbed je alternativní vývojová platforma k Arduinu postavená nad ARM Cortex-M procesory nejrůznějších výrobců. Na rozdíl od Arduina necílí pouze na amatérské použití, ale snaží se prosadit i v průmyslové sféře. Poskytuje unifikované softwarové rozhraní pro práci s periferiemi mikrokontrolérů neposkytuje však již unifikovaný hardware – ten si každý výrobce dodává sám. Na rozdíl od Arduina disponuje vývojové kity větím výpočetním výkonem a bohatšími perifériemi. (4)

Existují i vývojové kity, které se snaží být pinově kompatibilní s Arduinem. Příkladem takových desek jsou např. FRDM desky od Frescale. Mbed deska je zobrazena na obrázku 5.



Obrázek 5: Mbed deska (FRDM KL46Z) (5)

2 Koncepce projektu

Hlavním cílem této práce je posunout robota Pololu 3pi o několik úrovní. Díky tomu se bude moci účastnit složitější varianty „Sledování čára“ nebo jiných disciplín, kde dostačuje jeho fyzický výkon (výkon motorů). Tou může být například „Myš v bludišti“. V ní má robot za úkol nalézt střed bludiště (cíl), a následně projet zpaměti co nejrychleji. Při řešení tohoto úkolu je zapotřebí, aby se v bludišti dokázal orientovat. Aby to bylo možné, rozhodl jsem se využít IR senzory, díky který je možné detektovat překážku či stěnu. Pro dosažení velkých přesností při otáčení nebo měření ujeté vzdálenosti, využívám magnetický enkodér. Pokud by se uživatel rozhodl používat IR senzory jinak, nebo by chtěl detektovat překážku více způsoby, tak jsem se rozhodl přidat indukční senzor pro detekci nárazů.

Posledním doplňkem, který jsem přidal, je nárazník. Je nezbytnou výbavou tohoto robota a základní model, dodávaný výrobcem, jej bohužel neobsahuje. V případě, že jej robot Pololu 3pi nemá, dochází k častému ničení infračervených senzorů, které má základní model. Návrh jednotlivých nárazníků a jejich vzájemné srovnání, podrobně vysvětlím v kapitole Problémy vzniklé při návrhu nadstavbové.

Funkce, které v této práci navrhoji jsou:

1. zjištění své pozice (natočení, posunutí, ...), přidáním enkodérů a tzv. IMU (gyroskopu, magnetometru a akcelerometru v jednom pouzdře)
 - u enkodérů řeším také jejich uchycení
2. orientace, odhalování překážky nebo cizího předmětu v okolí robota díky IR senzorům
3. detekce nárazu do překážky a určení místa kolize (zda robot narazil přímo nebo z boku, ...), pomocí nárazníku s nárazovými (indukčními) senzory
4. napájení pomocí Li-pol baterií za účelem snížení váhy a výšky robota

V rámci napájení řeším:

- ochranu proti přepólování
 - spínání celkového napájení
 - měření proudu, napětí
 - spínání napájení pro Pololu 3pi a restartování robota
5. možnost připojení přídavné desky pro zvýšení výpočetního výkonu a vybavení robota (musí mít totožný pinout s Arduino Uno)
 6. oddělení uživatelského programu a mého hlavního řídicího (časově kritického) programu, který například nastavuje časovače, obsluhuje komunikaci mezi zařízení, čte hodnoty ze senzorů atd.

2.1 Využité součásti

Zde poskytuji seznam hlavních použitých komponent, které v tomto projektu využívám. Výběr a podrobnější popis zapojení je v následujících kapitolách.

1. 1x Procesor AVR Xmega A1
2. 2x Enkodér AS5047P
3. 1x Inerciální pohybová jednotka (IMU) – Gyroskop, akcelerometr, magnetometr a signálový procesor v čipu MPU-9250
4. 9x IR senzor:
 - a. vysílač – 3 mm IR LED L-934F3C
 - b. přijímač – 3 mm fototranzistor L-93DP3BT
5. 1x Přídavná deska (FRDM KL25Z, FRDM KL46Z, FRDM K64F nebo Arduino Uno)
6. 1x Čip pro zpracování hodnot z indukčního senzoru LDC1614_WQFN
7. 1x Nabíjecí čip MCP73831T
8. 1x Micro-USB
9. 1x Step-up TPS61236
10. 2x Stabilizátory TPS73033DBV

Jako procesor jsem zvolil AVR Xmega A1. Pro snímání polohy a otáček kol využívám rotační magnetický enkodér AS5047P. MPU-9250 slouží jako inerciální polohovou jednotku, jelikož obsahuje jak gyroskop, magnetometr, akcelerometr a signálový procesor v jednom pouzdře. Vysílačem IR senzoru je použit L-934F3C. Jedná se o IR LED, s průměrem 3 mm, vysílající záření o vlnové délce 940 nm. Přijímačem je fototranzistor L-93DP3BT, jehož průměr je také 3 mm. Přídavné desky, které je možné k shieldu připojit, musí mít pinout totožný s Arduino Uno. Rozhodl jsem se podporovat tyto: FRDM KL25Z, FRDM KL46Z, FRDM K64F a Arduino Uno. LDC1614_WQFN je čip, zpracovávající naměřené hodnoty až ze čtyř indukčních senzorů. Pro nabíjení Li-pol baterií byl vhodný obvod MCP73831T. Spínaný zdroj TPS61236 má vysokou účinnost (97 %) a je dimenzován na 3,5 A. Ke stabilizaci napětí k procesoru byly vybrány obvody TPS73033DBV a TPS73025DBV.

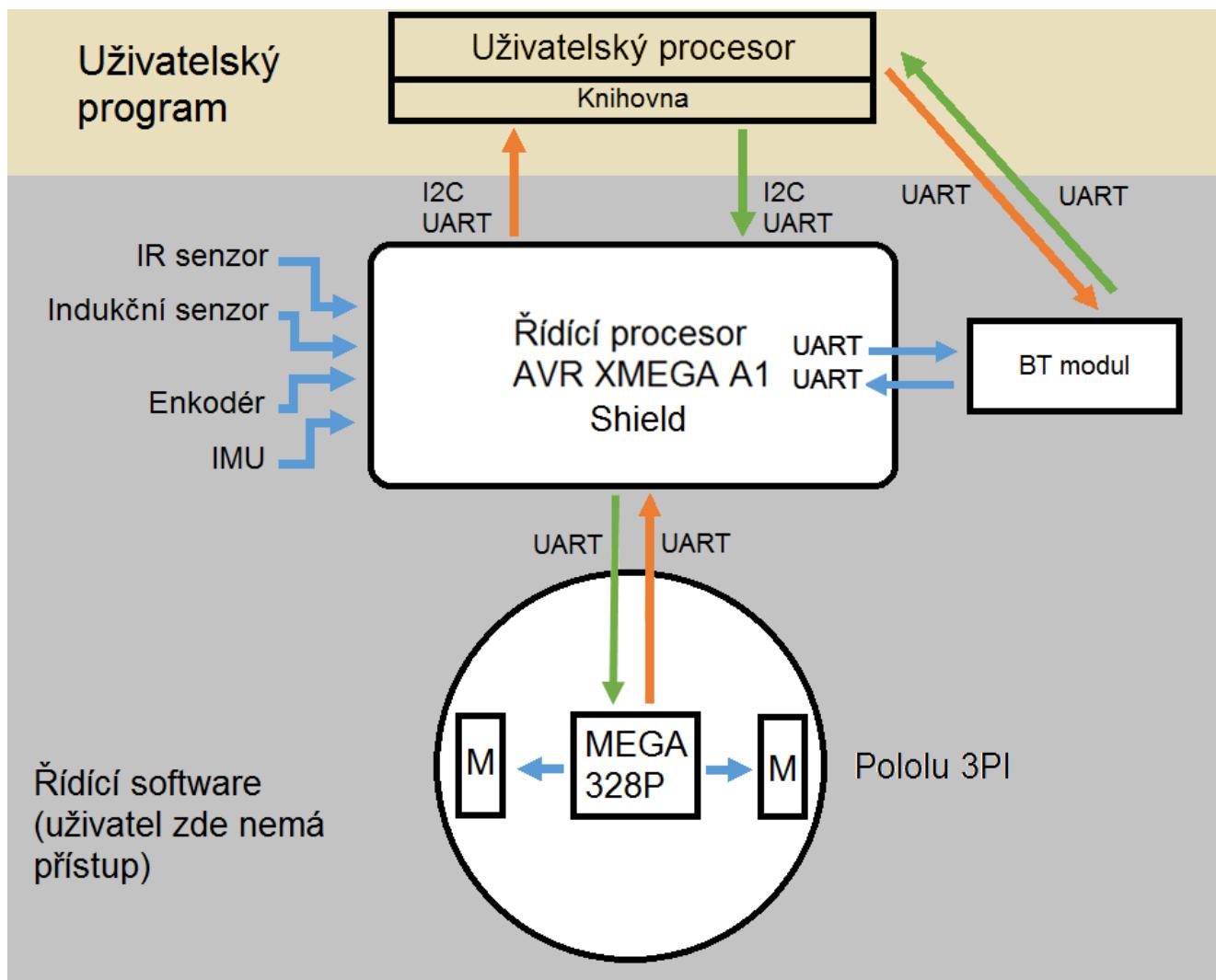
3 Schémata

V této kapitole popisuji funkci jednotlivých schémat tvořící shield. Vše jsem pro přehlednost rozdělil do bloků, podle funkčních celků. To znamená, že kapitoly druhé úrovně (x,y) odpovídají jedné problematice (např. regulace) a jednotlivým listům v rámci schémat. Kapitoly třetí úrovně (x,y,z.) odpovídají funkčnímu bloku (např. step-up, stabilizace 3,3 V, stabilizace AREF, ...). Kompletní schémata je k nalezení v příloze.

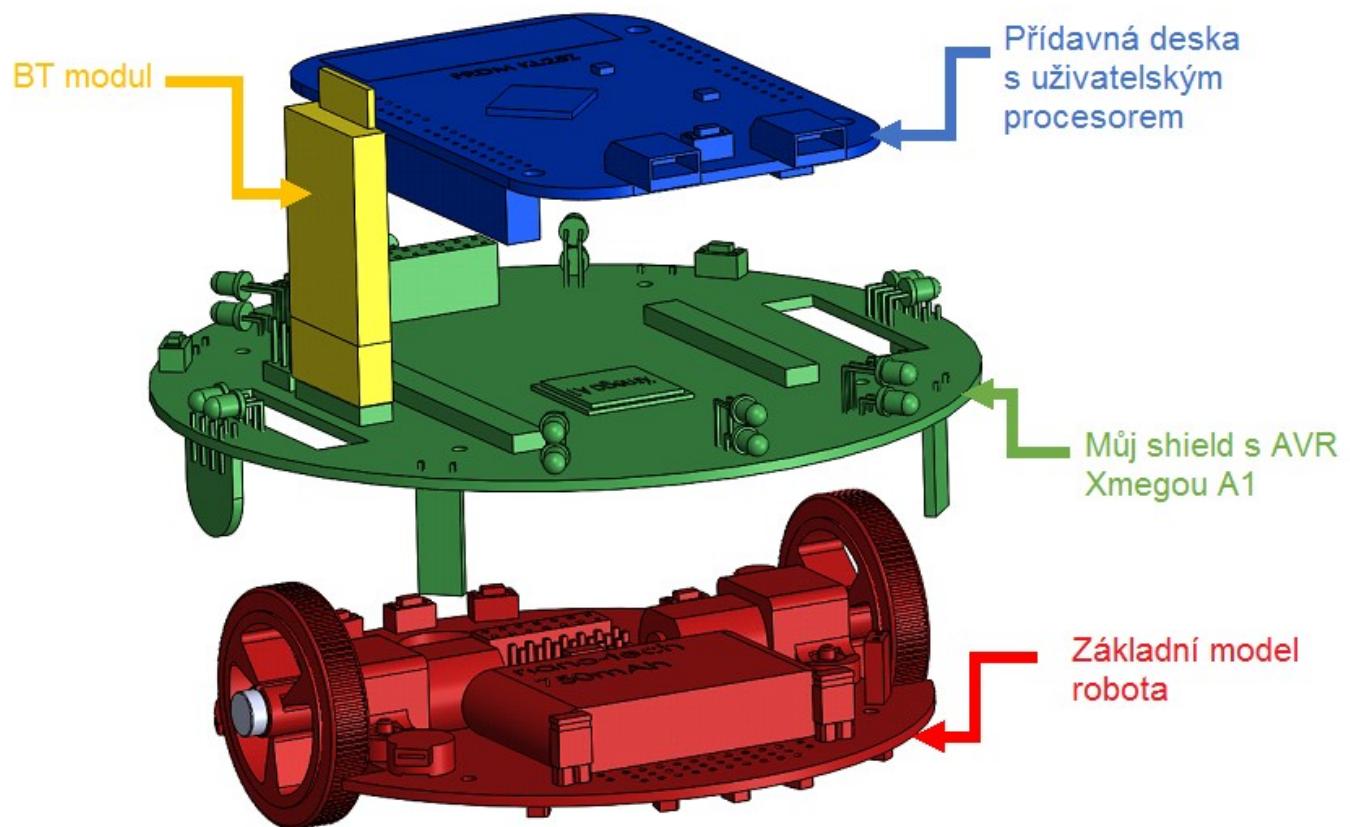
3.1 Zapojení CPU

V této kapitole se zabývám zapojením hlavního procesoru. Jako CPU jsem se rozhodl použít AVR Xmegu A1, která mě nabízí spoustu nožiček a velký výpočetní výkon. Nachází se na mého shieldu (viz obrázek 7 je označena zelenou barvou). Jeho funkce je zpracovávat hodnoty ze senzorů, zajišťovat komunikaci mezi zařízeními (na obrázku 6 znázorněno barevnými šipkami), ulehčení uživatelského procesoru, který se nachází na přídavné desce (na obrázku 7 je znázorněna modrou barvou), tak i oddělení uživatelského programu (na obrázku 6 „Uživatelský program“) od mého řídícího, časově kritického programu (na obrázku 6 „Řídící program“), kam nemá uživatel přístup. Procesor, který se nachází na základním modelu robota (na obrázku 7 je označen červenou barvou), slouží k ovládání motorů.

Všechny schémata kapitoly 3.1 se vztahují k obrázku 65, který se nachází v příloze.

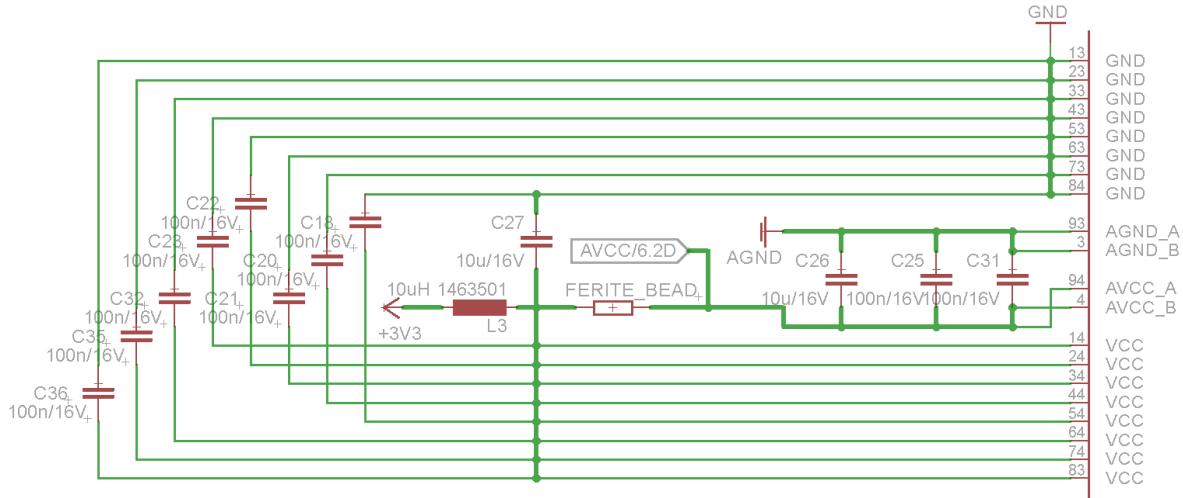


Obrázek 6: Blokové schéma



Obrázek 7: 3D model k blokovému schématu

3.1.1 Napájení CPU



Obrázek 8: Napájení CPU

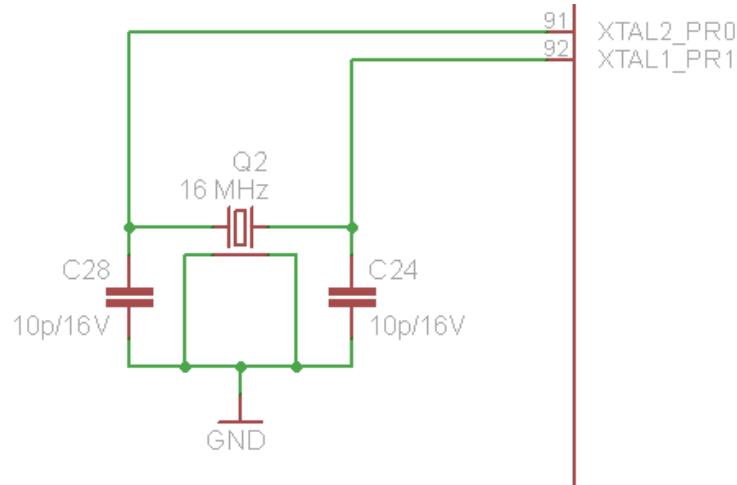
Obrázek 8 popisuje zapojení napájení MPU. Je zde 8 GND a 8 VCC pinů. Mezi jednotlivými GND a VCC je důležité přidat blokovací kondenzátor o hodnotě 100 nF a jeden o hodnotě 10 μ F, pro všechny vstupy dohromady. Pokud by tu nebyly, napájení by obsahovalo šum, způsobený špičkovými odběry a drahami, které se chovají jako cívky- mají větší indukčnost. Doporučené zapojení je možné nalézt v datasheetu viz. (6). Jejich funkce je pokrývání velmi krátkých proudových špiček, způsobených spínáním tranzistorů v procesoru.

Další částí zapojení jsou 2 AGND a 2 AVCC piny. Ty slouží pro napájení analogového úseku. Na tyto vstupy je rovněž nutné připojit kondenzátory, stejným způsobem.

Pro správnou funkci analogové části je zapotřebí připojit feritové jádro, tzv. „ferite bead“. Jedná se o feritové jádro. To zajišťuje odrušení vysokofrekvenčních kmitů, šířících se napájením.

Napájecí napětí CPU je 3,3 V (v případě vyššího napětí by došlo k jejímu zničení). Toto napětí je vytvářeno lineárním stabilizátorem napájeným z větve +5 V.

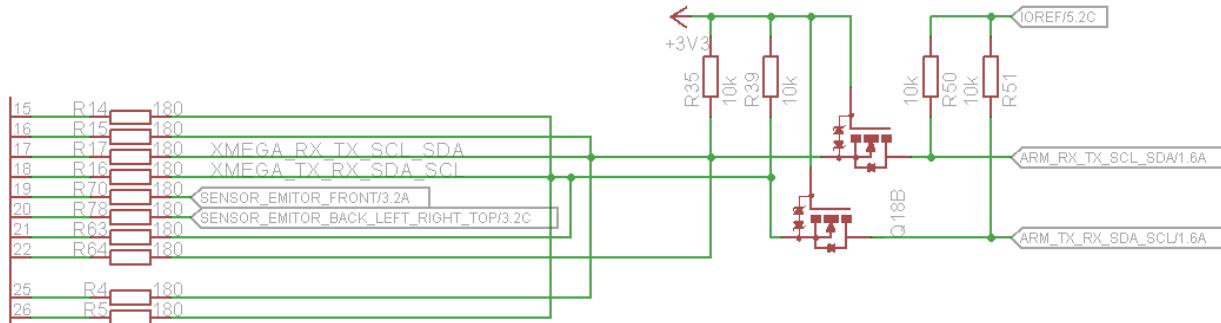
3.1.2 Zapojení krystalu



Obrázek 9: Připojení krystalu

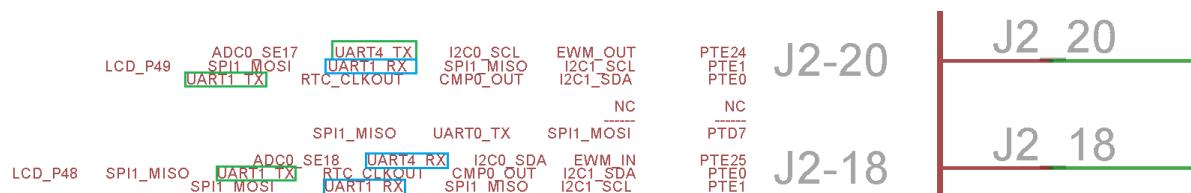
Abych dosáhl stabilnějších kmitočtů (frekvence) CPU, oproti internímu oscilátoru, například při komunikaci, zpracování hodnot atd., rozhodl jsem se využít krystal, jehož zapojení zobrazuje obrázek 9. Samotná AVR Xmega (CPU) dokáže pracovat až na kmitočtu 32 Mhz. (6). Kondenzátory C28 a C24 slouží k impediančnímu přizpůsobení krystalu a procesoru. Dle datasheetu musí být jejich kapacitavýšší nebo rovny 7 pF (7).

3.1.3 SPI komunikace mezi CPU a UP



Obrázek 10: Komunikace mezi CPU a UP

Na obrázku 10 je schéma komunikace mezi CPU a UP. Z důvodu pinové nekompatibility (viz obrázek 11) komunikačních pinů J2-20 a J2-18 na FRDM deskách (KL25Z, KL46Z, K64F), bylo zapotřebí vytvořit zapojení, kterým by se tento problém kompenzovalo.



Obrázek 11: Prohozené piny TX a RX

Díky křížení komunikačních pinů RX, TX, SCL a SDA je zajištěna kompatibilita se všemi přídavnými deskami (UP).

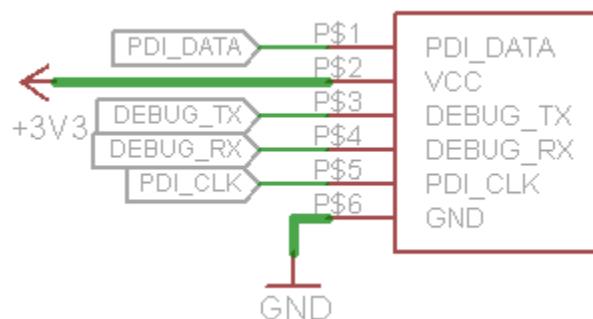
3.1.4 USB



Obrázek 12: Připojení nabíjecího USB

AVR Xmega A1 obsahuje integrovanou USB. Na obrázku 12 jsou znázorněny dráhy, vedoucí od USB konektoru, který může sloužit jak k nabíjení Li-pol baterie, tak na programování a ladění programu. Dráhy USB_D+ a USB_D- jsou dráhy, kterými chodí data.

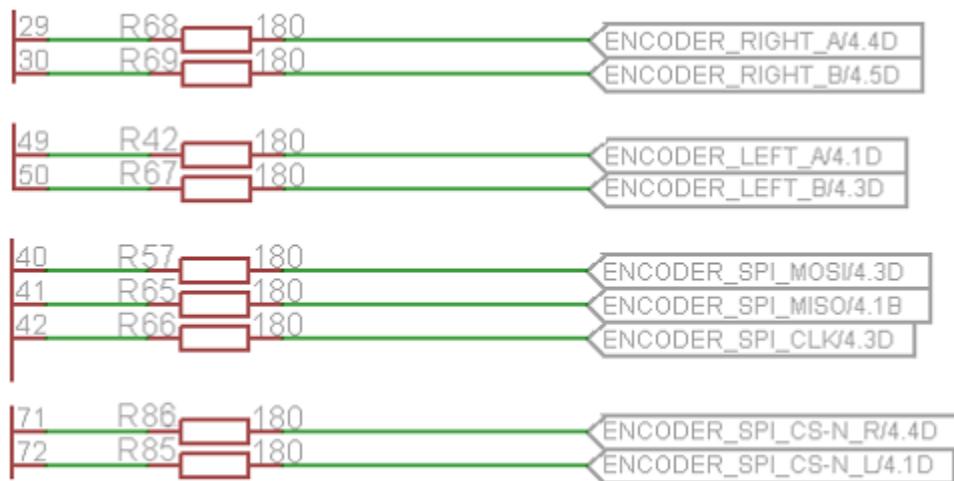
3.1.5 Programovací konektor



Obrázek 13: Programovací konektor

Na obrázku 13 se nachází zapojení programovacího konektoru. Po dráze PDI_DATA chodí data do MCU. PDI_CLK zajišťuje hodinový signál, který je zapotřebí pro synchronizaci dat. Oba tyto piny jsou vyvedeny k AVR Xmeze na stejně pojmenované piny. Signály DEBUG_TX a DEBUG_RX slouží jako standardní sériová linka pro ladění při vývoji softwaru. Na AVR Xmeze jsou připojeny za ochrannými odpory na pinech DEBUG_TX_ (PD3) a DEBUG_RX_ (PD2).

3.1.6 Enkodéry



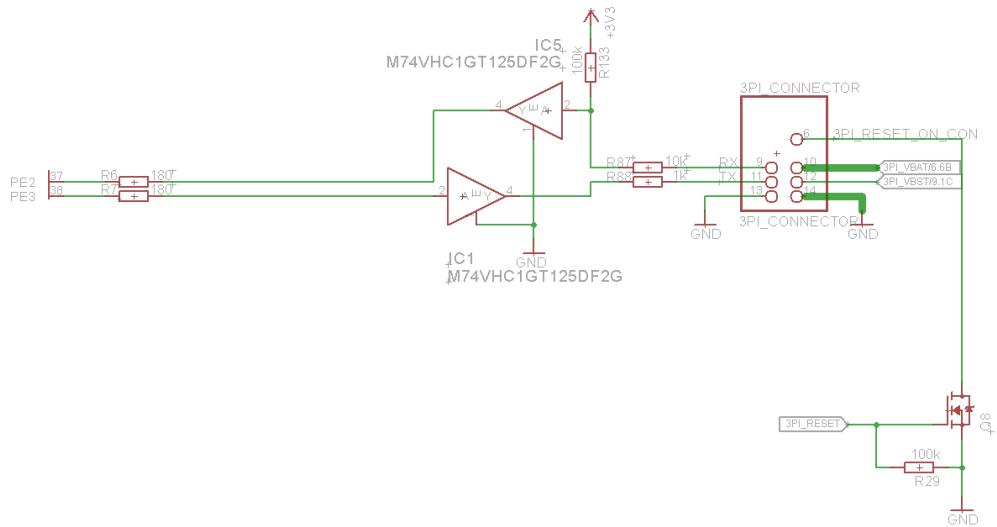
Obrázek 14: Připojení enkodérů

Na obrázku 14 se nachází dráhy vedoucí na pinheady, na které se připájí DPS s enkodérem AS5047P. Dráhy ENCODER_SPI_CLK, ENCODER_SPI_MISO, ENCODER_SPI_MOSI jsou společné pro oba enkodéry. CLK je hodinový signál, který zajišťuje synchronizaci dat. MOSI (MASTER OUT SLAVE IN) je dráha, po které CPU (master) posílá instrukce enkodéru (slave). MISO je přesně naopak.

Zapojení obsahuje také kvadraturní výstupy. ENCODER_RIGHT_A, ENCODER_RIGHT_B, ENCODER_LEFT_A a ENCODER_LEFT_B.

Master si vybírá s kterým zařízením bude komunikovat pomocí drah ENCODER_SPI_CS_N_R a ENCODER_SPI_CS_N_L. Jedná se o dráhy označené jako Chip Select (CS) a N znázorňuje negaci (primárně je zařízení připojeno k úrovni logická 1 a při komunikaci se úroveň změní na logickou 0). Pomocí těchto drah si CPU vybere, se kterým enkodérem chce zrovna komunikovat.

3.1.7 UART komunikace mezi CPU a 3pi

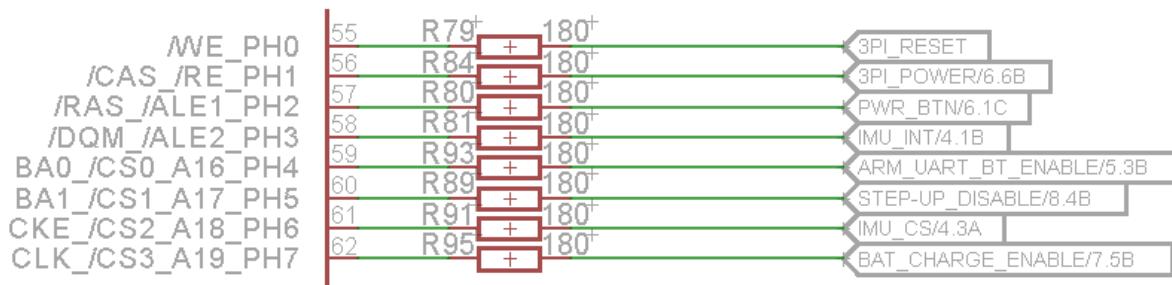


Obrázek 15: Komunikace mezi CPU a 3pi

Na obrázku 15 je znázorněna UART komunikace mezi CPU a původním 3pi (spodní deska). Aby vše správně fungovalo, používám napěťový převodník, který podle toho, které zařízení bude přijímat signál, nastaví napěťovou úroveň.

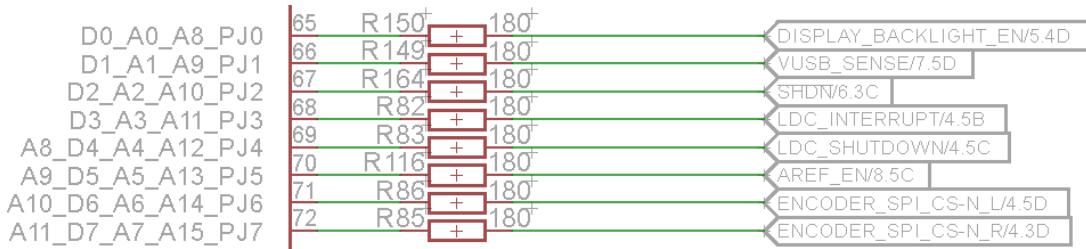
3.1.8 Digitální signály

Na obrázku 16 je připojení digitálních signálů k AVR Xmeze, tedy signálů, kde napětí má buď úroveň logická 1 nebo 0. Jsou to následující signály:



Obrázek 16: Digitální piny na pinech PH0-PH7

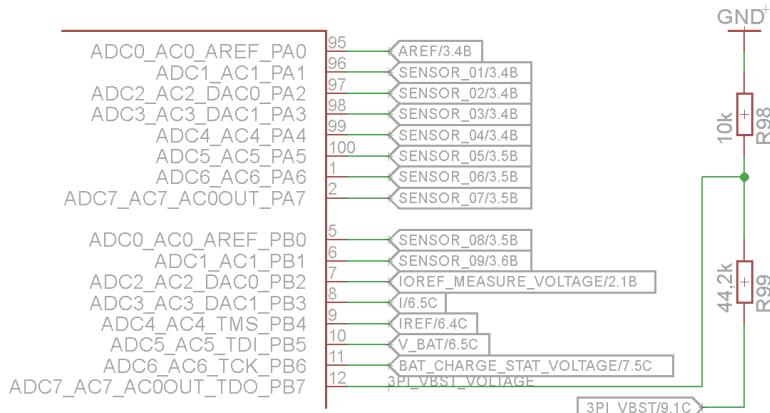
- **3PI_RESET** – resetovat MCU
- **3PI_POWER** – spínání napájení pro MCU
- **IMU_INT** – signalizace dostupnosti dat z IMU (gyroskop, akcelerometr a magnetometr v jednom pouzdře)
- **ARM_UART_BT_ENABLE** – aktivace komunikace mezi UP a bluetooth
- **STEP-UP_DISABLE** – vypnutí step-upu, zajišťující napětí 5 V
- **IMU_CS** – Chip Select pro SPI u IMU senzoru
- **BAT_CHARGE_ENABLE** – zapne nebo vypne nabíjení baterií



Obrázek 17: Digitální piny připojeny k AVR Xmeze na pinech PJ0-PJ7

- **DISPLAY_BACKLIGHT_EN** – zapínání podsvícení displeje
- **VUSB_SENSE** – indikace připojení USB napájení
- – při logické 0 vypne celé zařízení
- **LDC_INTERRUPT** – signalizace dostupnosti dat
- **LDC_SHUTDOWN** – vypne indukční senzory
- **AREF_EN** – zapíná AREF stabilizátor
- **ENCODER_SPI_CS-N_L** – CS (Chip Select – výběr čipu) umožňuje přepínat komunikaci mezi levým a pravým enkodérem
- **ENCODER_SPI_CS-N_R**-stejná funkce jako ENCODER_SPI_CS-N_L
- **LED_0-LED_7**- vypíná nebo zapíná signalizační LED
- **BTN_LEFT, BTN_MIDDLE, BTN_RIGHT, BTN_OPTION**-při stisku tlačítka nastaví logickou hodnotu na Xmeze a tím můžeme zjistit, které tlačítko se stisklo a tím provést námí zvolenou funkci

3.1.9 Analogové signály



Obrázek 18: Připojení analogových signálů

K CPU je připojeno celkem 12 analogových signálů:

- **AREF** Napájecí napětí IR přijímačů – slouží hlavně pro diagnostiku
- **SENSOR_0n** výstupní signály z IR přijímačů
- **IOREF_MEASURE_VOLTAGE** referenční napětí pro komunikaci s UP – umožňuje rozpoznat, mám-li připojené Arduino, nebo Mbed

- **I** Výstupní napětí z měření proudu – je přímo úměrné proudu aktuálně odebíranému z baterek. Nutno měřit diferenciálně proti signálu IREF.
- **IREF** referenční napětí pro měření proudu
- **V_BAT** napětí na baterce, přizpůsobené napěťovým děličem do vhodného rozsahu
- **BAT_CHARGE_STAT_VOLTAGE** napětí na tomto pinu signalizuje stav integrovaného obvodu pro nabíjení baterie
- **3PI_VBST_VOLTAGE** motorové napětí z 3PI, upravené napěťovým děličem do vhodného rozsahu

Amplituda analogových signálů je přizpůsobena pro měření proti internímu 2 V referenčnímu napětí.

3.2 Zapojení UP

Obrázky kapitoly 3.2 se vztahují k obrázku 66, umístěného v příloze.

3.2.1 Napájení UP

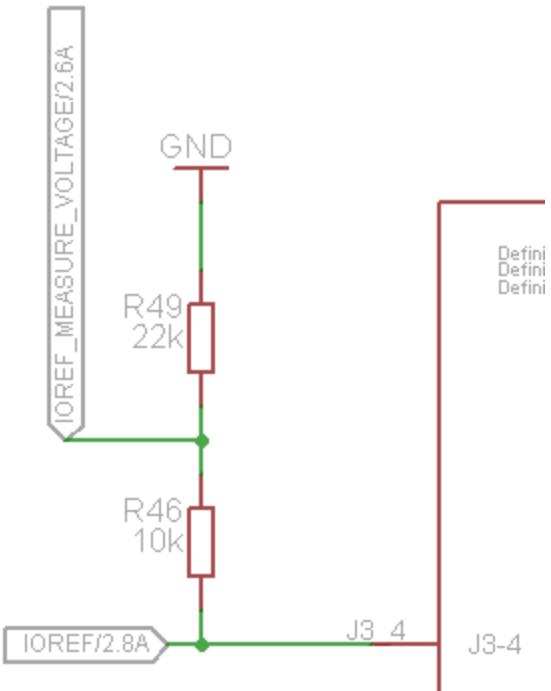


Obrázek 19: Napájecí část UP

Na obrázku 19 je vidět napájecí část UP. Na pinech J3_12 a J3_14 se nachází zem, která je společná, jak pro FRDM desku, tak pro Arduino. Dále se zde nachází piny J3_10 a J3_16. Tyto dva piny slouží pro přivedení napájecího napětí 5V.

3.2.2 Detekce připojené rozšiřovací desky

Na obrázku 20 je znázorněno schéma obvodu, který zjišťuje, která deska je aktuálně připojená. Pokud by bylo připojené Arduino, které komunikuje na 5 V, tak je potřeba změnit úroveň napětí pro komunikaci na 5 V. V případě, že je připojena FRDM deska, je důležité toto komunikační napětí snížit na 3,3 V, aby nedošlo ke zničení zařízení. O kontrolu připojené desky se stará dráha IOREF_MEASURE_VOLTAGE, která je připojena na AD převodník CPU. O samotné nastavování hodnot pro danou desku se stará pin IOREF.



Obrázek 20: Obvod, umožňující zjistit, která deska je připojena

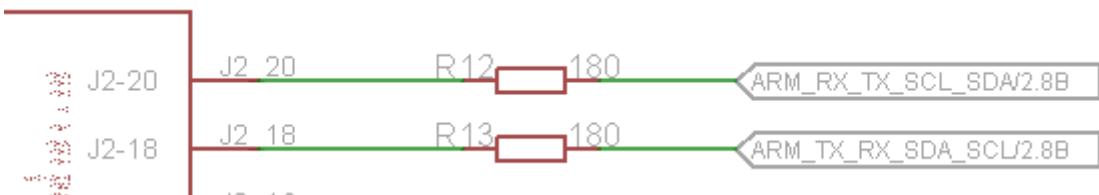
3.2.3 Komunikace s BT modulem



Obrázek 21: Komunikace UP s Bluetooth

Na obrázku 21 je připojení drah pro komunikaci mezi Bluetoot a UP. Vysílání signálů z UP bude na pinu J1_4, kde je vysílací pin (TX). Přijímání bude na pinu J1_2, kde se nachází přijímací pin (RX).

3.2.4 SPI a UART komunikace mezi CPU a UP



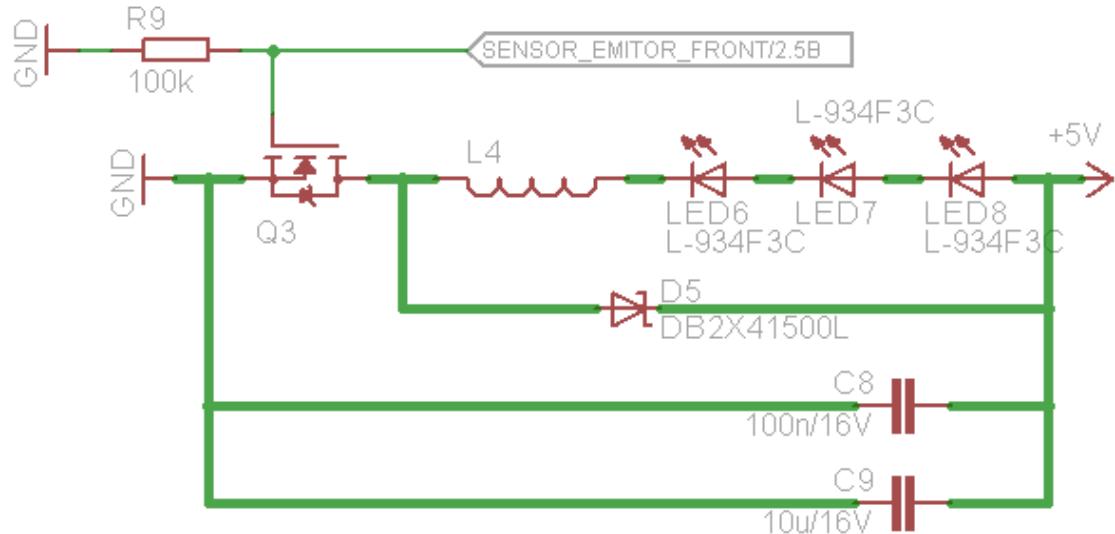
Obrázek 22: Komunikace mezi UP a CPU

Na obrázku 22 je zapojení komunikace mezi UP a CPU. J2_18 a J2_20 jsou komunikační piny. Obě dráhy umožňují přijímat i vysílat komunikaci, ale záleží, které UP je zrovna připojeno.

3.3 Infračervené senzory

Pro detekci překážky využívám IR senzor. Jeho činnost je taková, že signál, vyslaný vysílačem, se odrazí při kontaktu s překážkou zpět, kde dopadá na přijímač. Čím blíže bude překážka, tím vyšší bude intenzita světelného signálu a tím bude větší hodnota, kterou měřím. Kapitola 3.3 se vztahuje k obrázku 67, umístěného v příloze.

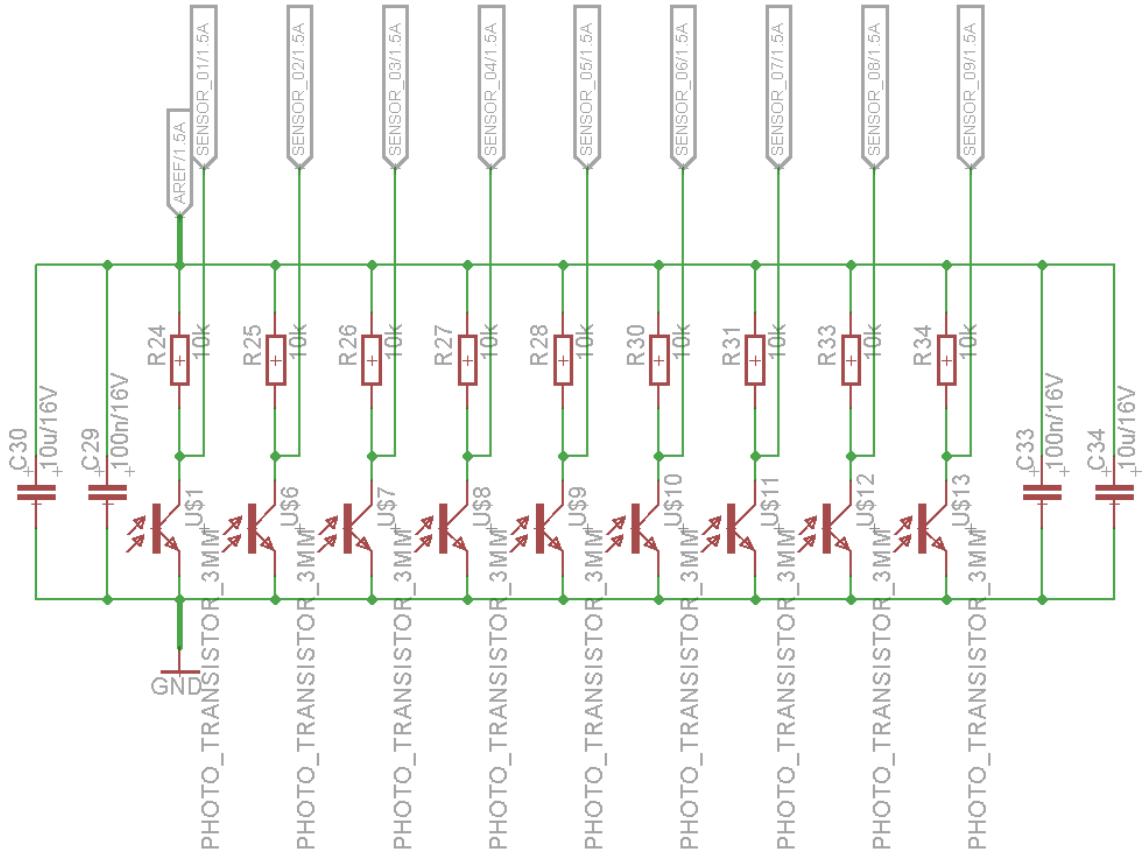
3.3.1 Vysílač



Obrázek 23: Vysílač IR senzoru

Na obrázku 23 je vysílač pro IR senzor. Aby šetřila energie, tak jsem jednotlivé skupiny IR senzorů rozmístil do tří trojic, podle společného využití (například v první skupině jsou senzory, které kontrolují překážku před robotem). Na zmíněném obrázku je trojice vysílacích infra diod, které jsou umístěny na přední straně shieldu. Jsou připojeny přes cívku k MOS-FET tranzistoru. Ten je spínán CPU, pomocí dráhy SENSOR_EMITOR_FRONT. V případě, že CPU vyšle signál, logické úrovně 1, dojde k otevření tranzistoru, a tím i k rozsvícení IR LED. Odpor R9 zde slouží jako tzv. pull-down rezistor. Kondenzátory C8 a C9 jsou zde z důvodu filtrace, stejně, jak je tomu u napájení CPU (popsáno v kapitole 3.1.1 Napájení). Jako vysílač jsem použil 3 mm IR LED L-934F3C.

3.3.2 Přijímač



Obrázek 24: Přijímač IR senzoru

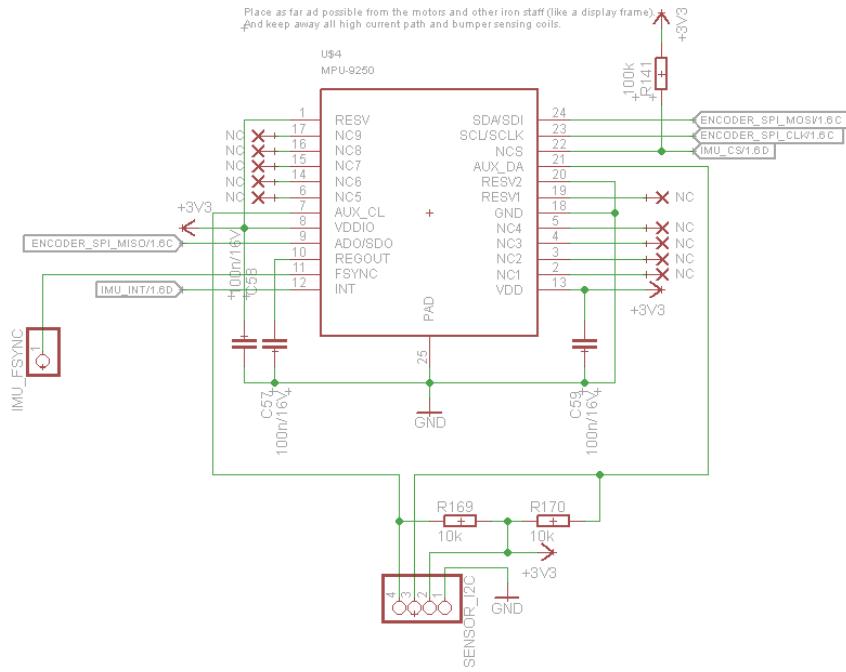
Na obrázku 24 je schéma přijímače IR senzoru. Všechny fototranzistory jsou napájeny pomocí dráhy AREF (2,54 V). Hodnoty, vycházející z fototranzistoru jsou vyslány na CPU, přes dráhy SENSOR-01-09. Každý z přijímačů má také svůj rezistor, který umožňuje nastavit pracovní bod tranzistoru. Jako přijímač jsem použil 3 mm fototranzistor L-93DP3BT.

3.4 Pohybové senzory

Aby byl robot schopen detektovat náraz nebo určit svoji polohu, využívám senzory, popsané v této kapitole. Ta se vztahuje k obrázku 68, umístěného v příloze.

3.4.1 Inerciální polohová jednotka (IMU)

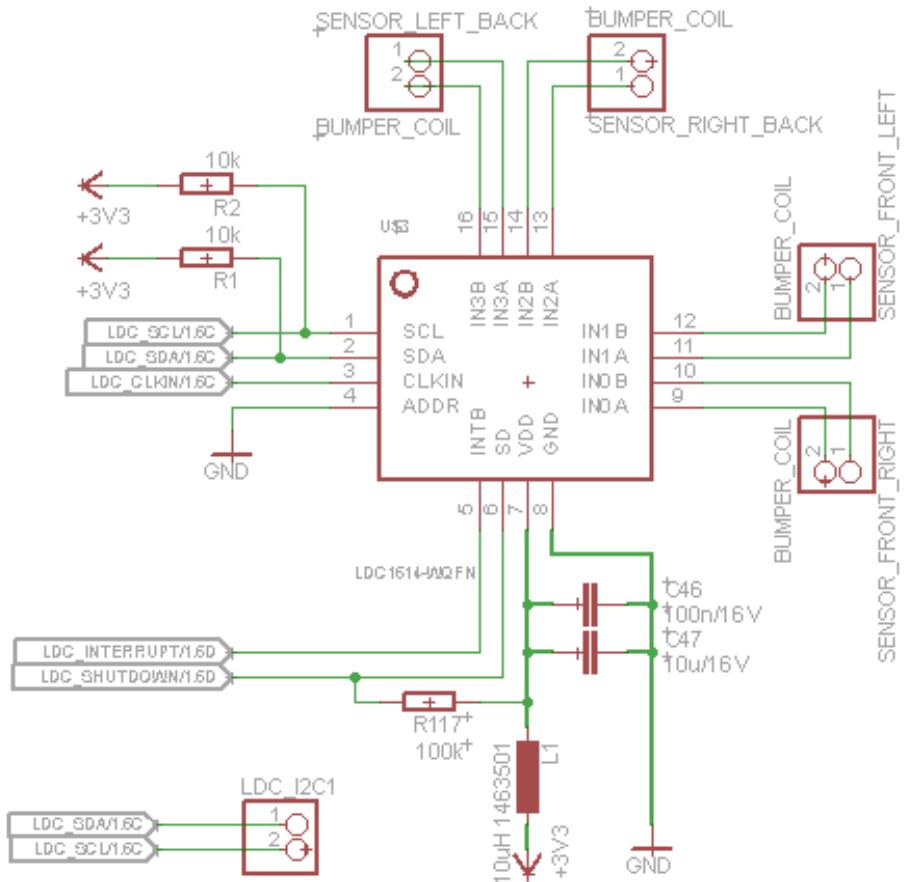
Na obrázku 25 je znázorněno zapojení IMU (konkrétně MPU-9250). Jedním z požadavků je, aby robot znal svoji pozici. Proto je na shieldu umístěna IMU s vestavěným magnetometrem, gyroskopem, akcelerometrem a se signálovým procesorem. Magnetometr měří absolutní natočení vůči severu. Gyroskop měří natočení robota. To znamená, že můžeme zjistit, zda je robot nakloněn, je ve vodorovné poloze nebo se otočil o určitý úhel. Akcelerometr měří zrychlení. Pomocí něj se dá zjistit, v jakém směru ke zrychlení došlo, pokud nastalo. Všechny senzory jsou tříosé a lze je využít například při jízdě podél mantinelu, otočení o 90° atd.



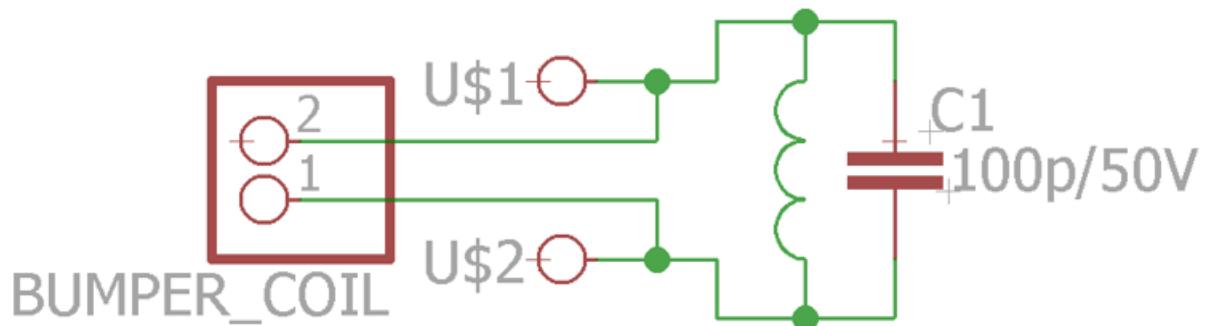
Obrázek 25: Magnetometr, gyroskop a akcelerometr

3.4.2 Indukční senzor

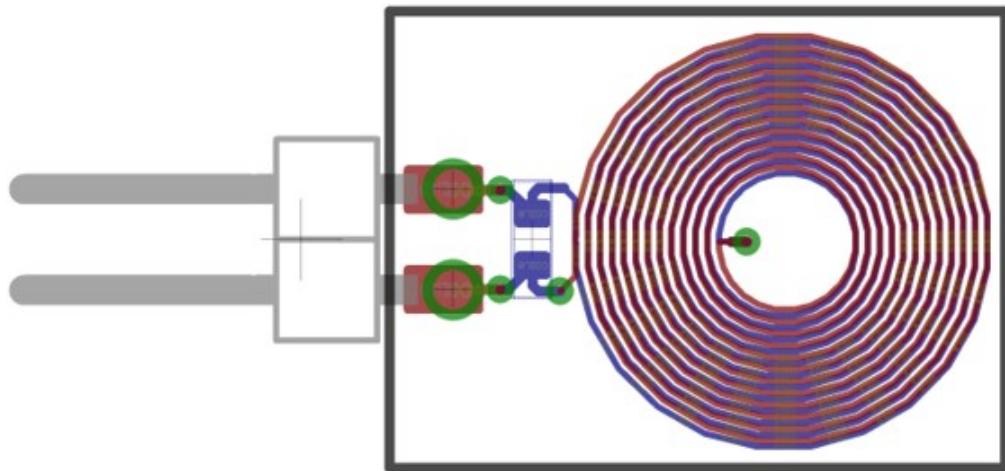
Na obrázku 26 je zapojení indukčního senzoru. Senzory jsou zapojeny následovně. Na každém pinheadu, pojmenovaném jako BUMPER_COIL, je umístěn jeden z nich. Indukční senzory se skládají z cívky a kondenzátoru, které vzájemně oscilují a signál je poslán na čip LDC1614, zobrazený ve středu obrázku. K tomu, aby indukční senzor fungoval je zapotřebí přidat do jejich blízkosti kovový materiál. Jakmile dojde k nárazu, tak se kovový materiál přiblíží nebo oddálí od senzoru. Tento senzor při oscilaci (změně magnetického pole) indukuje výřivé proudy v kovovém materiálu. Tyto proudy zeslabují naměřené hodnoty. V případě přiblžení se hodnoty zmenší a při oddálení se sníží. Na základě změny hodnot, jsme schopni zjistit, jestli robot narazil a s určitou přesností můžeme zjistit kam. Dále hodnoty odporů R2 a R1 slouží, jako takzvané pull-up rezistory. Kondenzátory C46 a C47 mají stejný úkol, jako u ostatních zmíněných zapojení čili filtrování šumu i vysokých frekvencí. Také slouží, jako krátkodobý zdroj energie pro čip. Cívka je zde potřebná pro správnou funkci obvodu.



Obrázek 26: Čip pro měření indukčnosti



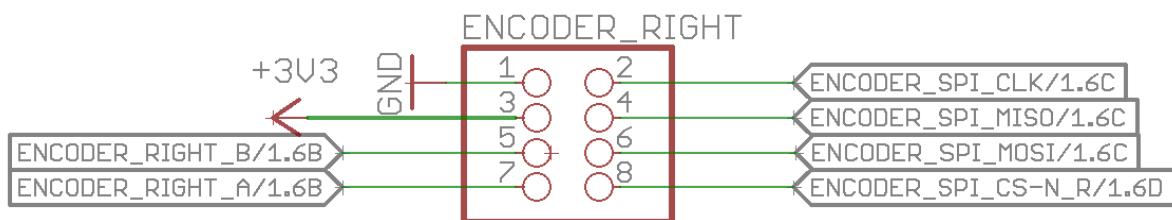
Obrázek 27: schéma indukčního senzoru



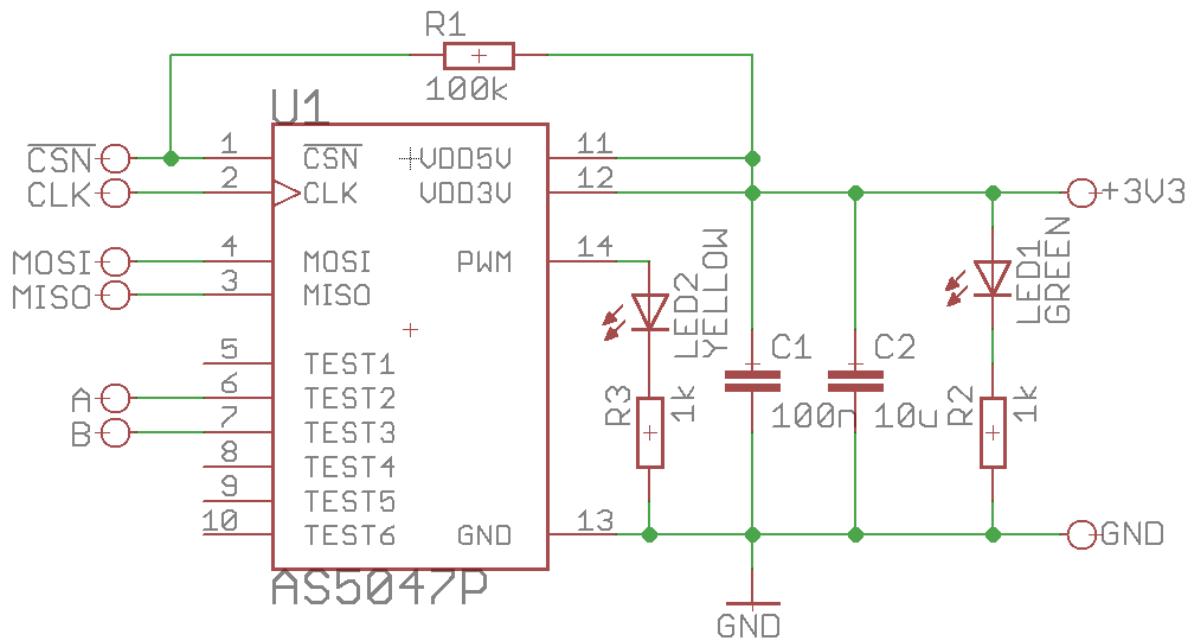
Obrázek 28: Deska s indukčním senzorem

3.4.3 Enkodéry

Na obrázku 29 je znázorněno zapojení enkodéru. Enkodér je propojený s mým shieldem, pomocí pinheadů. Na ně jsou vyvedeny signály, potřebné pro činnost enkodéru. Mezi tyto signály patří napájení, komunikace SPI (pro čtení hodnot), ENCODER_SPI_CS-N_R(L), pro vybrání daného enkodéru pro komunikaci a ENCODER_RIGHT_A a ENCODER_RIGHT_B, které slouží jako inkrementální výstup. V této práci je použit AS5047P. Jedná se o 14-bitový rotační magnetický enkodér.

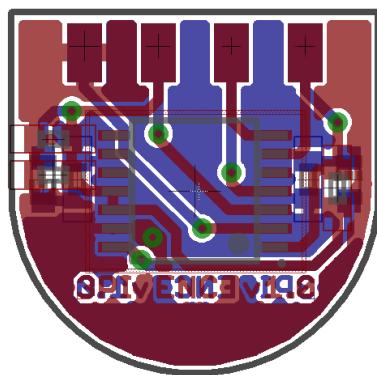


Obrázek 29: Enkodér



Obrázek 30: Deska s enkodérem

Na obrázku 30 je deska s enkodérem, která se propojí s výše uvedeným pinheadem. LED1 indikuje, zda je deska pod napětím a LED2 námi zvolenou funkcí.



Obrázek 31: Výsledná destička s enkodérem



Obrázek 32: Vyrobená destička s enkodérem

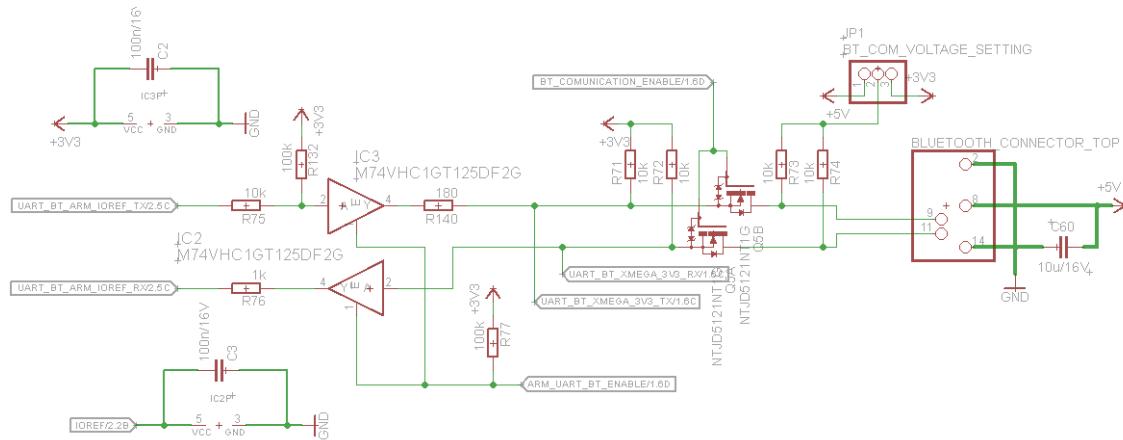
3.5 Komunikace

Kapitola 3.5 se vztahuje k obrázku 69, umístěném v příloze.

Na obrázku 33 je znázorněna komunikace mezi BT modulem, UP a CPU. Toto zapojení se skládá ze dvou operačních zesilovačů. Vrchní slouží k vysílání z UP a spodní k přijímání signálu UP. Tyto zesilovače obsahují pin enable, který je ošetřen proti stavu high impedance, pull up rezistorom (R77). Ten je drží, v případě tohoto stavu, komunikaci aktivní. V případě komunikace pomocí I2C jsou na pravé straně

MOS-FET tranzistory, které tuto komunikaci umožňují. Pinhead, umístěn v horní části, s názvem JP1, slouží k přepínání napěťových úrovní. V případě, že bluetooth nebude 3,3 V, ale 5 V, tak stačí propojit prostřední pin s levým, pomocí jumperu. Tímto propojením bude komunikace pro bluetooth probíhat na 5 V. Změnu napěťového stavu pro UP zajišťují operační zesilovače.

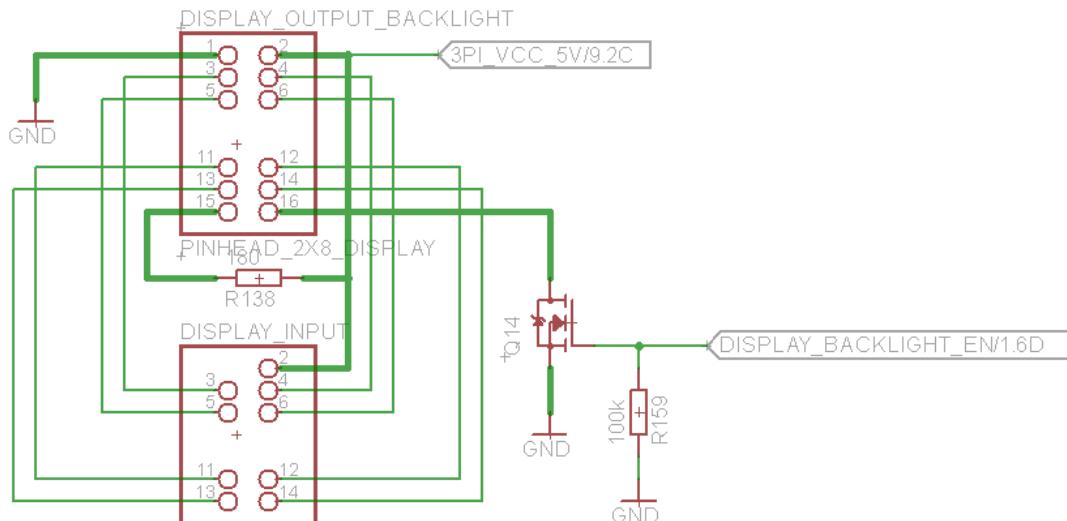
3.5.1 Komunikace mezi CPU, bluetooth a UP



Obrázek 33: Komunikace mezi CPU, bluetooth a UP

3.5.2 Displej nacházející se na Pololu 3pi

Na obrázku 34 je zapojení displeje, která se nachází na základním modelu robota Pololu 3pi. Původně se displej, pomocí pinheadů, nasunul do dutinek, na základní desce robota. Z důvodu umístění displeje na shield, je zapotřebí na něj vytáhnou ze spodu signály. Pomocí pinheadů si spodní dutinku, propojím se shieldem. Zmíněná dutinka je pojmenována DISPLAY_INPUT, která svým rozměrem odpovídá dutince na 3pi, ale neobsahuje nepotřebné piny. Dále jsem si přidal dutinku, která je umístěna v zadní části shieldu. Na tuto dutinku, která má o dva piny více, se připojí displej. Důvodem, proč má dva piny navíc je to, že se dá zvolit, zda chceme připojit podsvícení pro displej.

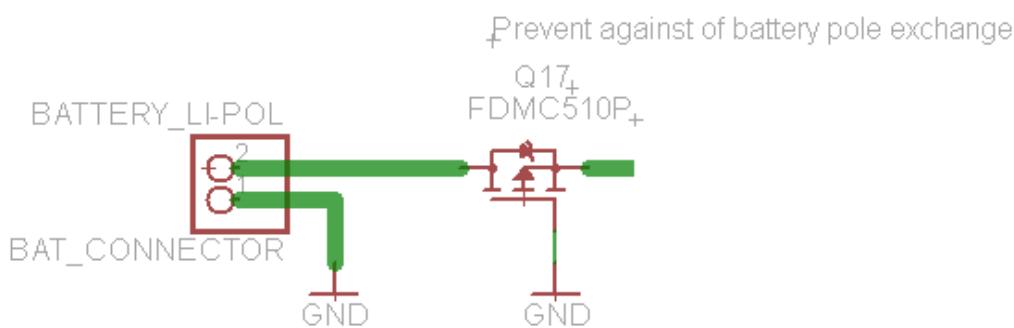


Obrázek 34: Zapojení displej

3.6 Napájení

Kapitola 3.6 se vztahuje k obrázku 70, umístěného v příloze. Bylo zde zapotřebí vyřešit ochranu proti přepólování, spínání celkového napětí, měření proudu na napětí a také spínání napětí na 3Pi + jeho zapnutí.

3.6.1 Baterie a ochrana proti přepólování

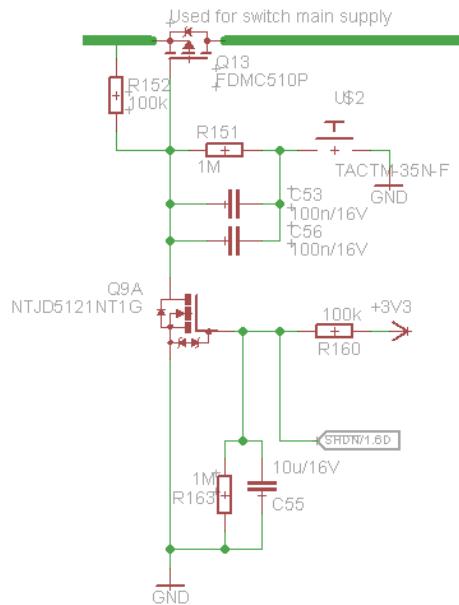


Obrázek 35: Připojení baterií a ochrana proti přepólování

Na obrázku 35 je připojení baterií, pomocí pinheadu 1x2, s názvem BAT_CONNECTOR. MOS-FET tranzistor, který je k němu připojen, slouží jako ochrana proti přepólování. To znamená, že při prohození pólů zdroje se tranzistor neotevře. Tento tranzistor je výkonový a celá napájecí část je dimenzováno na maximálních 10 A.

3.6.2 Spínání celkového napájení

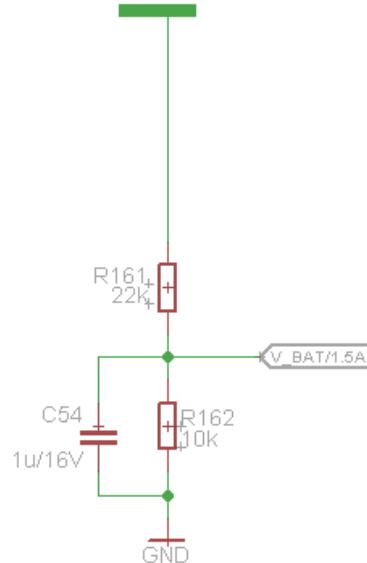
Na obrázku 36 je spínání celkového napájení. Pokud stiskneme tlačítko, zobrazeno na obrázku, tak dojde k otevření tranzistoru Q13. Tento tranzistor je dočasně otevřen, díky kondenzátoru C53 a C56, které se začnou vybíjet. Tranzistor Q13 propustí napětí z baterií a vyšle ho přes signál BATTERY na step-up, který z něj udělá stabilních 5 V. Toto napětí je připojeno na 3V3 stabilizátor, který jej sníží na 3,3 V. Toto snížené napětí je následně připojeno na tranzistor Q9A. Přivedením napětí tento tranzistor otevře a tím dojde k trvalému otevření Q13. Pomocí dráhy SHDN je možné robota vypnout (odpojit přívod napájení).



Obrázek 36: Spínání celkového napájení

3.6.3 Měření napětí na bateriích

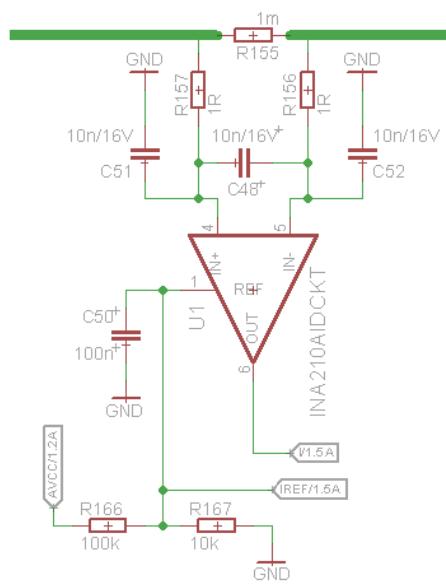
Na obrázku 37 je zapojení, které nám pomocí napěťového děliče umožní měřit napětí. Tímto měřením můžeme zjistit, zda je zapotřebí baterii nabít nebo ne. Pokud by se hodnota napětí na Li-pol baterii dostala pod určitou hodnotu, tak by došlo k jejímu zničení.



Obrázek 37: Měření napětí

3.6.4 Měření proudu

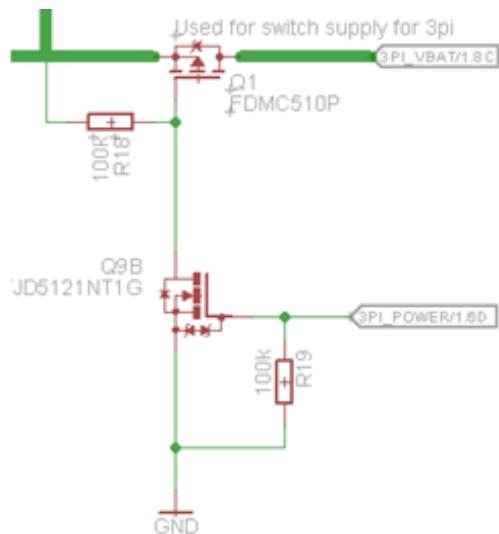
Na obrázku 38 je zapojení, pro měření proudu. Toto měření je zajišťováno operačním zesilovačem. Pomocí něj můžeme měřit odběr elektrické energie z baterie a tím zjistit, zda je baterie vybitá nebo ne. Dalším využitím je měření při zátěži. Jakmile by zátěž nastala, tak je možné určit, zda jsou poškozené baterie nebo robot narazil do překážky a snaží se rozpohybovat (vzroste příkon).



Obrázek 38: Měření proudu

3.6.5 Spínání napájení pro 3pi

Na obrázku 39 je znázorněno spínání napájení pro 3pi. V případě, že napětí prošlo přes tranzistor Q13, a prošlo přes odpor o velikosti $1\text{ M}\Omega$, tak se dostává na tranzistor Q1 a Q9B. Jakmile je toto napětí na tranzistor Q1 přivedeno, dojde k sepnutí napájení pro 3pi. O celkové sepnutí napájení se stará Q9B.



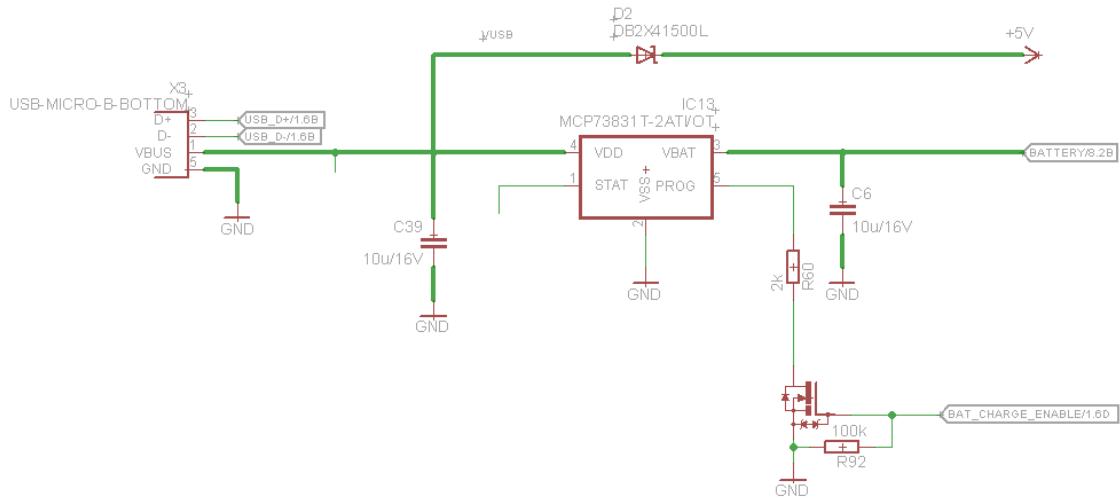
Obrázek 39: Spínání napětí pro 3pi a zapínání samotného 3pi

3.7 Nabíjení

Kapitola 3.7 se vztahuje k obrázku 71, umístěnémho v příloze.

3.7.1 USB a nabíjecí čip

Na obrázku 40 je znázorněn obvod s nabíjecím čipem a USB. Nabíjecí čip obsahuje 5 vývodů. VDD je kladné napájecí napětí. VBAT se připojuje ke kladnému pólmu baterie. PROG slouží jako regulátor nabíjecího proudu, kde se pomocí hodnoty odporu R60 nastavuje hodnota proudu, kterou se má nabíjet. Dále také umožňuje zapnutí, či vypnutí nabíjení, pomocí MOS-FET tranzistoru, který je zde použit. VSS je jiné označení pro GND. STAT je vývod, který se nejčastěji používá, pro připojení LED, která indikuje stav nabítí. (8) Schéma dále obsahuje filtrování kondenzátory a shottkyho diodu, která je zde proti přepólování.



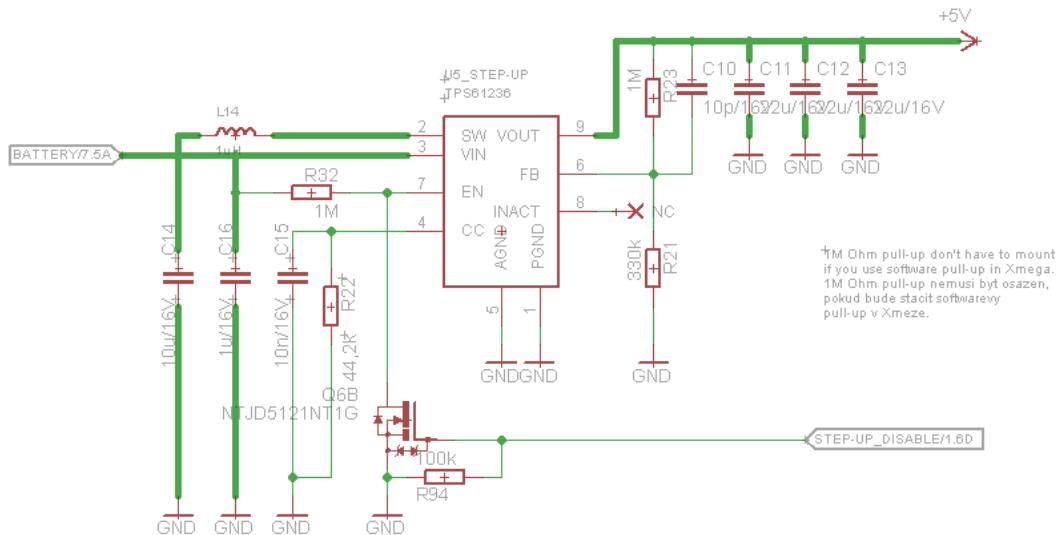
Obrázek 40: USB a nabíjecí čip

3.8 Stabilizátory

V této kapitole vysvětluji zapojení, která upravují napětí na stanovenou hodnotu. Ta je buď 3,3 V, například pro napájení IMU, 5 V pro funkčnost celého 3pi, nebo AREF, využívané například k napájení IR vysílače. Obrázky kapitoly 3.8 se vztahují k obrázku 72, umístěnému v příloze.

3.8.1 Step-up

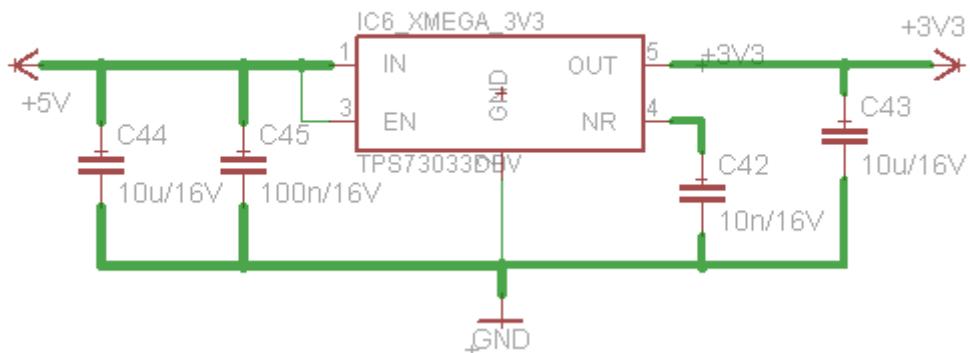
Na obrázku 41 je zapojen step-up. Zapojení stabilizátoru (step-up), slouží k vyhlazení nabíjecího napětí od USB. Dráha BATTERY je připojení napětí, které je zapotřebí stabilizovat. Tato dráha je připojena na VIN (kladná napájecí hodnota), a také přes 10 μ F a 1 μ F kondenzátory ke GND. Na pin SW se připojuje cívka, s co možná nejnižším odporem a s indukčností 1 μ H. Pin VOUT je stabilizované napětí, ke kterému se k odrušení šumů a vysokých kmitů přidávají kondenzátory C11, C12, C13. Pin FB je zpětná napěťová vazba a je nutno připojit k VOUT, kde je stabilizované napětí. INACT je pin, který se může připojit k AGND (zem pro analogové části, kterou neprochází takové výkony) nebo tak, jak je to v mé případě, kdy se nevyvádí. Jeho funkce je ukazatel zatížení (load indicator). PGND (Power GND) je zem, kterou prochází vysoké výkony, je tedy důležité zapojit tento obvod tak, jak udává výrobce. CC slouží k nastavení konstantního proudu, který vychází ze stabilizátoru. Nastavuje se hodnotou odporu R22. Enable pin (EN) umožňuje zapnutí nebo vypnutí stabilizátoru. (9)



Obrázek 41: Step-up

3.8.2 Stabilizátor 3V3

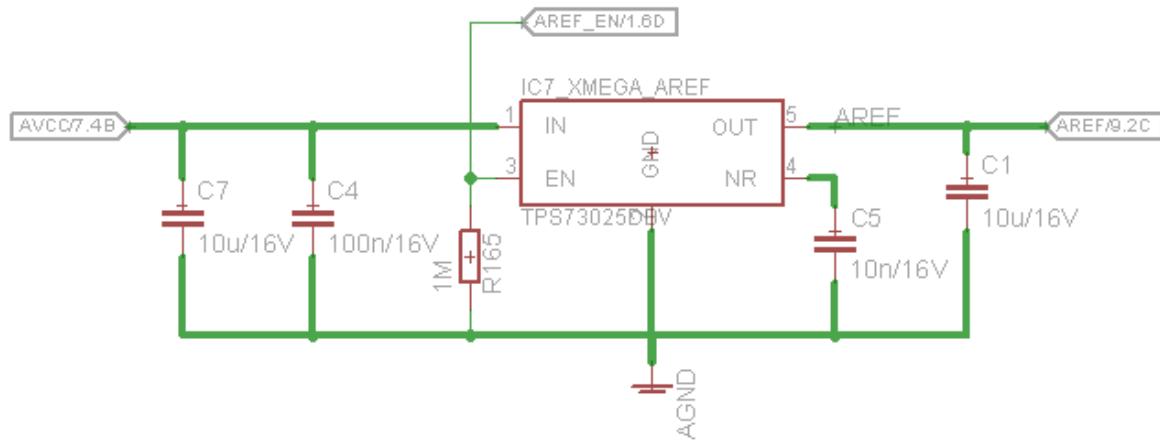
Obrázek 42 zobrazuje schéma 3V3 stabilizátora. Ten slouží ke stabilizování 5 V, dodávaných stabilizátorem (step-up), na 3V3, jimž se napájí CPU. Na vstupu i na výstupu má připojené filtrační kondenzátory, které opět kromě funkce odrušení šumu a vysokých kmitů, slouží také jako krátkodobá zásobárna energie. IN je vstupní nožička čipu, na který se přivádí napětí 5 V a nožička OUT je výstup čili místo, odkud vychází stabilizované napětí požadované hodnoty. Enable pin (EN) jsem zde spojil naopak ke kladnému napájecímu napětí, protože jej není nutné vypínat. Na vývod NR se připojuje kondenzátor, tlumící výstupní rušení.



Obrázek 42: stabilizátor 3V3

3.8.3 Stabilizátor AREF

Na obrázku 43 je zapojení stabilizátoru AREF. Ten na svém výstupu vytváří AREF napětí, tedy Analog Reference. Jedná se o vytvoření napěťové reference, kterou po přivedení na CPU, nastavujeme vnější referenční napětí na analogových pinech. Toto je zapotřebí přivést, jinak by hodnoty větší, než AREF nebudou po přečtení smysluplné (špatné), protože obsahují hodnotu, která není v intervalu referenčního napětí.



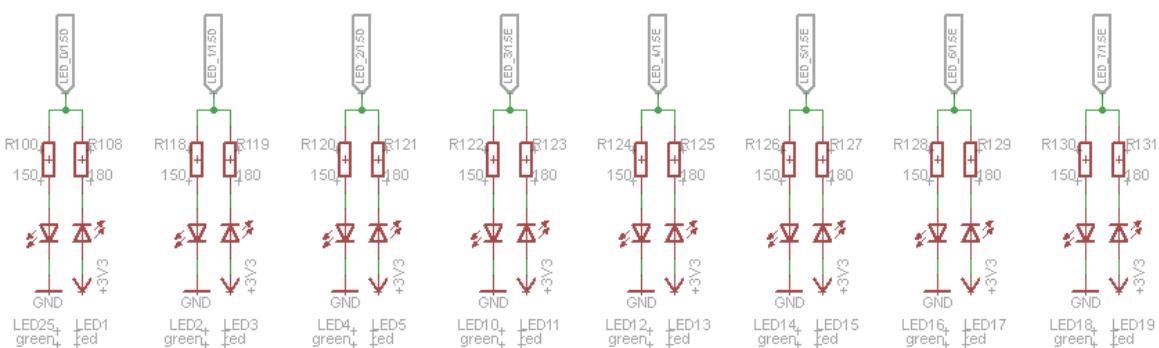
Obrázek 43: stabilizátor AREF

3.8.4 Signalizační LED

V této kapitole popisuji využití signalizačních LED. Kapitola 3.9 se vztahuje k obrázku 73, umístěného v příloze.

3.8.5 LED_0 – LED_7

Na obrázku 44 jsou znázorněny signalizační LED_0 – LED_7 (indikátory). Ty se připojují přímo na CPU, na digitální piny (popsáno kapitole, kde se zabývám CPU). Výhoda je, že si uživatel může určit, co budou signalizovat, na základě svého programu. Například pokud při detekování překážky pomocí IR senzorů překážku indikujeme, tak se může rozsvítit. Toto zapojení navíc obsahuje v každém indikátoru 2 LED. Jakmile jsou připojeny k log 0, například pomocí dráhy LED_0, tak bude svítit pravá (zelená) LED. V případě, že bude připojena log 1, bude svítit levá (červená) LED. V případě, že nebude nastavena ani jedna hodnota a obvod tak bude nastaven do high impedance, tak nebude svítit žádná LED.

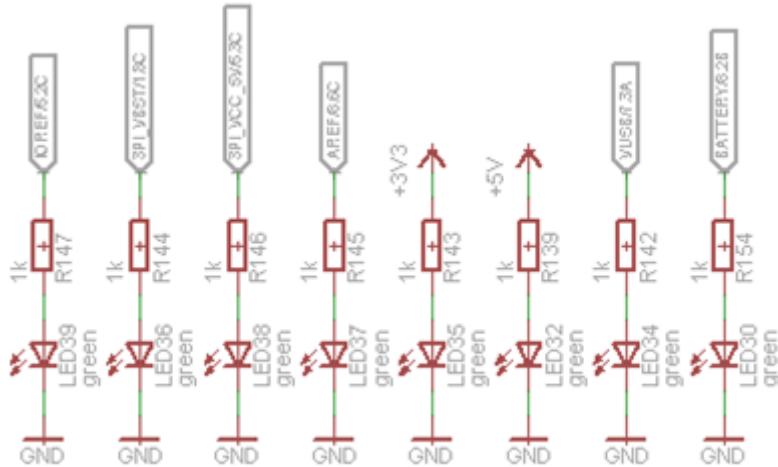


Obrázek 44: Signalizační LED LED_0 – LED_7

3.8.6 Signalizační LED pro konkrétní využití

Tyto signalizační LED, mají danou určitou funkci. LED, napájená dráhou IOREF indikuje připojení této dráhy. 3PI_VBST indikuje, zda jsou aktivní senzory na snímání čáry a 3PI_VCC, zda je připojeno napájení pro 3pi. AREF signalizuje připojení AREF signálu. +3V3 a +5V indikuje napájení

+3V3 a +5V. LED VUSB signalizuje, zda z USB vychází napětí nebo ne a LED BATTERY indikují, zda jsou připojené baterie.



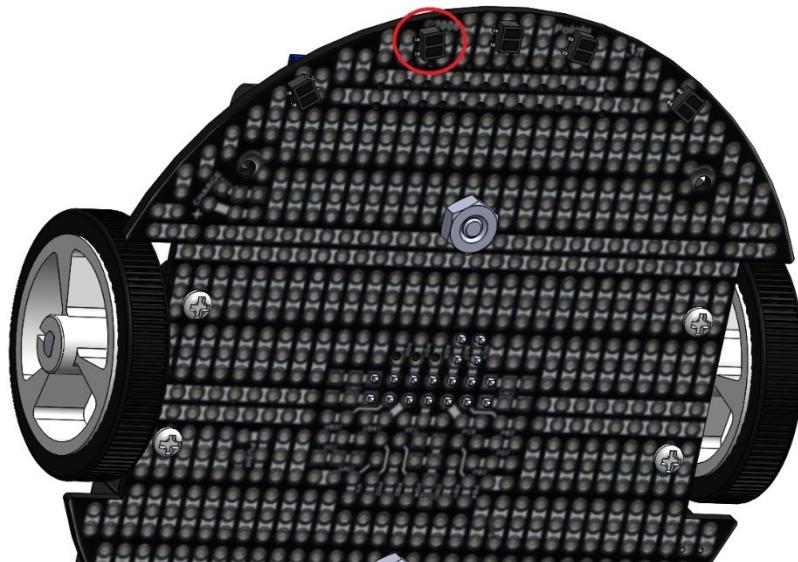
Obrázek 45: Signalizační LED pro stanovenou funkci

4 Problémy vzniklé při návrhu nadstavbové desky

V této části se zabývám problémy, které vznikly při návrhu desky. Dále také uvádím, jakým způsobem jsem je vyřešil.

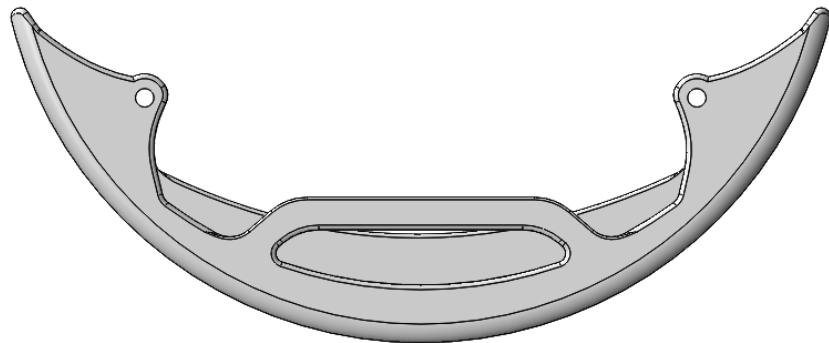
4.1 Jaký použít nárazník

Již na začátku práce jsem se rozhodl, že je nezbytné, přidat na robota nárazník. Důvodem, bylo zamezení nárazům robota do překážky, nárazům senzory odrazu do podlahy, viz obrázek 46.



Obrázek 46: Senzory odrazu

K nárazům do senzorů docházelo ve dvou případech. Při brzdění robota z vyšších rychlostí, protože je schopen jezdit rychlostí, až 1 m/s (1). Při rozjezdu je celá energie vložena do kuličky v zadní části, což pomáhá ke stabilitě robota. Bohužel na přední části žádné opěrné zařízení není, tudíž při každém (prudkém) brzdění došlo vlivem setrvačnosti k jeho překlopení. Toto překlopení způsobilo tvrdý náraz senzory do země, a to je ničilo. Dalším důvodem, proč přidat nárazník je situace, kdy uživatel vypustí robota na podlaze, která je například z kachliček, kde docházelo na nerovném povrchu k překlápení, a to opět ničilo senzory. Rozhodl jsem se tedy, že nárazník vytvořím. Během testování vzniklo několik variant nárazníků. Prvotní verze byly zkušební, abych zjistil, zda má jeho přidání smysl. První možností byl pouze poloviční nárazník, o poloměru 45,67 mm a výšce 5,56 mm. Ukázalo se, že je použitelný viz obrázek 47.



Obrázek 47: Poloviční nárazník

Jelikož se nárazník osvědčil, bylo zapotřebí vymyslet, jak u tohoto nárazníku vymodelovat uchycení enkodérů, o kterým bylo jisté, že budou součástí shieldu. Bylo tedy nutné tento návrh upravit. Upravenou variantou byl nárazník kolem celého 3pi o poloměru 56,6 mm a výšce 8,56 mm, který obsahoval, výše uvedené uchycení enkodérů. Přichycení k desce i možnost přišroubování k desce pomocí šroubů zůstala stejná jako v předchozí variantě. Tento nárazník byl ovšem spíše elipsového tvaru, což nebylo vhodné, protože mohlo dojít k zachycení, například o hrani zábrany, proto byl předělán. Další varianta byla dostatečně zaoblena, tudíž šance na zaseknutí byla malá, viz obrázek 48.

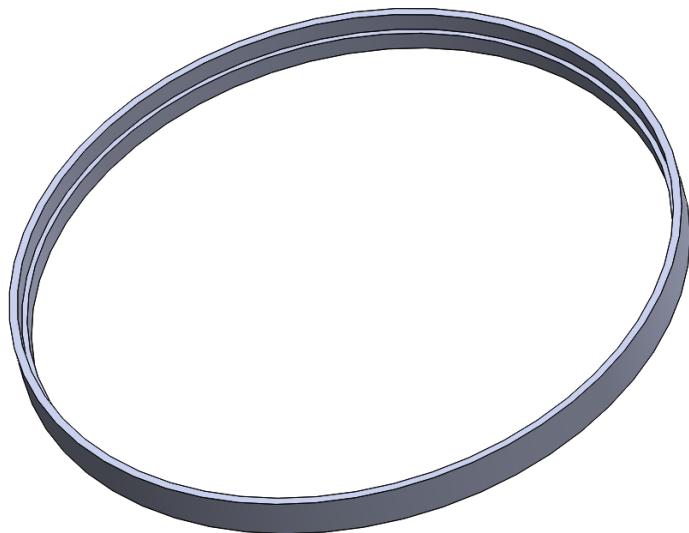


Obrázek 48: Nárazník kolem celého 3pi, po zaoblen

Jelikož i tento nárazník splnil mé požadavky, tak jsem se rozhodl vytvořit variantu, která by byla tenká. Tato varianta totiž spotrebovala příliš mnoho materiálu. Z důvodu toho, že jsem ji tiskl na 3D tiskárně, bylo zapotřebí tuto variantu radikálně zmenšit. Rozhodl jsem se tedy sepsat požadavky, které jsem po nárazníku požadoval.

1. musí být lehký, odolný
2. málo objemný
3. jednoduché přichycení k základní desce
4. musí obsahovat konstrukci pro uchycení enkodérů
5. možnost přichytit indukční senzory

Tyto požadavky, až na konstrukci pro uchycení enkodérů, splňoval poslední návrh. Jedná se sice o tenký nárazník, ale o dostatečné odolnosti. Inovativní změnou zde bylo jednoduché uchycení nárazníku, který se nedal sice přišroubovat, ale obsahuje schodek, díky kterému se dal nasunout na desku, viz obrázek 49. Tento nárazník má poloměr 48,6 mm, je vysoký 6 mm a schodek je poloviční, tedy 3 mm.



Obrázek 49: Nárazník po radikálním zjednodušení

Otestoval jsem na něm použitelnost a funkčnost tohoto konceptu. Vytvořil jsem nárazník, který i přes tenkost, byl velmi odolný. V další verzi jsem vymodeloval výstupky s otvory, kam lze vloží enkodér. Na obrázku 50 je znázorněna poslední varianta. Pro lepší tlumení čelních nárazů do překážek, jsem se ještě rozhodl přidat kolem celého nárazníku tlumící pěnu, z molitanu o tloušťce 10 mm a oblépit tuto pěnu zatajovací fólií, využívající se k zatajování papíru a v budoucnu jej nahradím měděnou fólií.



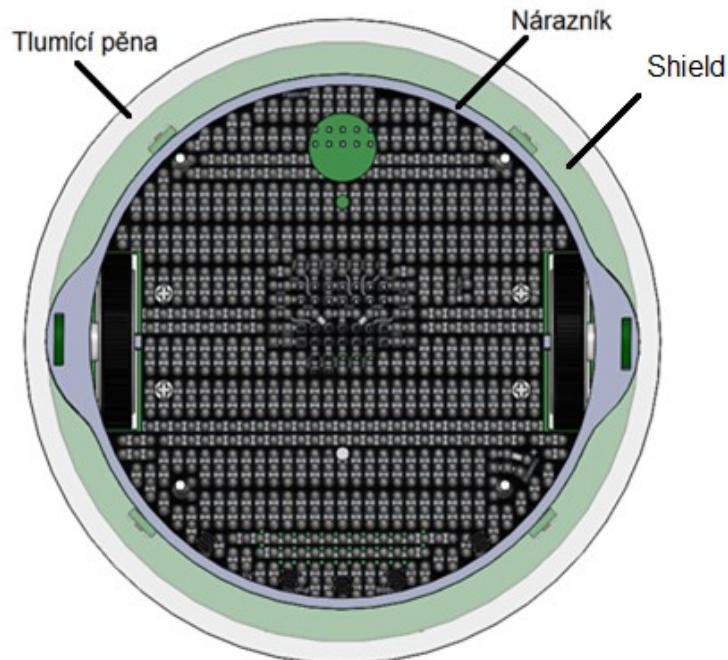
Obrázek 50: Poslední varianta nárazníku s tlumící pěnou

4.2 Jakou zvolit velikost a tvar shieldu

Při výběru rozměrů desky jsem si určil dvě základní kritéria:

- co nejmenší velikost (průměr) robota
- optimální velikost, pro připojení externích senzorů (enkodéry, indukční senzory pro sledování pohybu nárazníků)

Můj shield je na robota jehož tvar je kruhový, tudíž i má deska by měla být kruhová. Šířka spodní desky má průměr necelých 95 mm. Můj shield má 110 mm. Jelikož přidávám nárazník s tlumící pěnou, není nutné se šírkou zaobírat, viz obrázek 51.



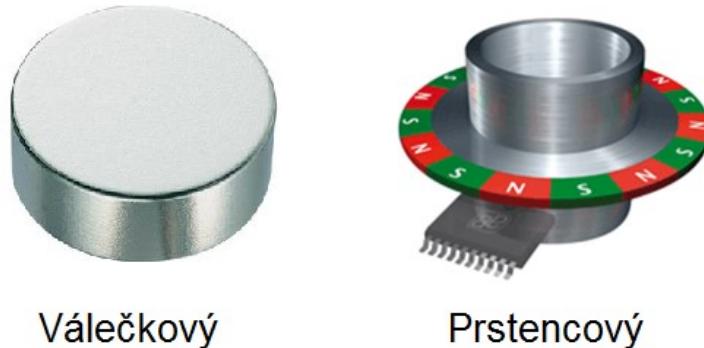
Obrázek 51: Rozdíl v šířce shieldu a tlumící pěny

4.3 Výběr a umístění magnetu pro enkodér

Enkodér je zařízení, sloužící ke snímání otáček, polohy kola, rychlosti robota atd. Existují dva základní typy. Magnetický a optický. Rozhodl jsem se použít magnetický enkodér, protože optický nenabízí v rámci mého použití, tak dobrý poměr mezi cenou a rozlišením. Jeho funkce je měření magnetického pole magnetu.

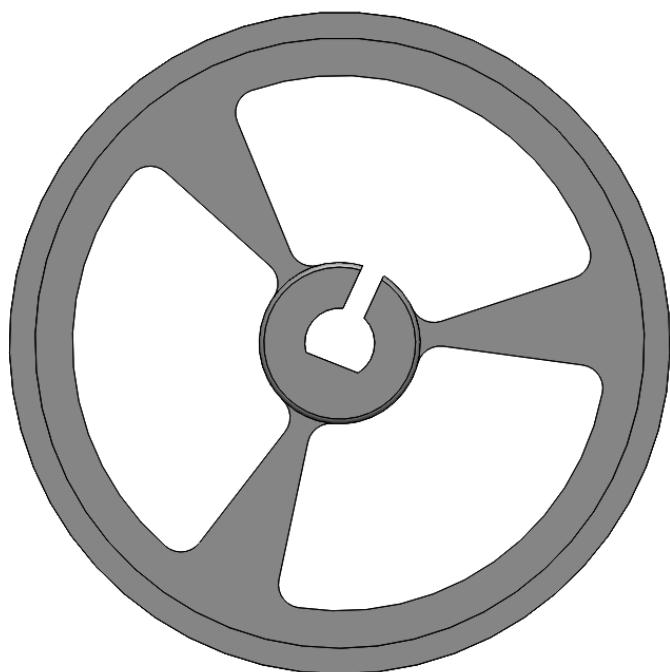
Bylo tedy nutné, vybrat správný typ magnetu. Zvažoval jsem dva typy. Prstencový a válečkový, viz obrázek 52. Prstencový má po celém obvodu střídavě severní a jižní pól. Pokud bychom použili magnet tvaru prstence, bylo by nutné upravit průměr kola, protože nejmenší sehnatelný průměr prstence, byl větší. To by znamenalo, upravit kolo a posunout osu motoru.

Navrhnutí nového kola by nebyl problém, ale pro jeho vyvýšení bych musel odpájet motory, vykopložit je a napájet zpět. To by byl nechtěný zásah do robota, proto jsem tuto možnost zavrhl. Druhou variantou bylo použití válečkového magnetu.

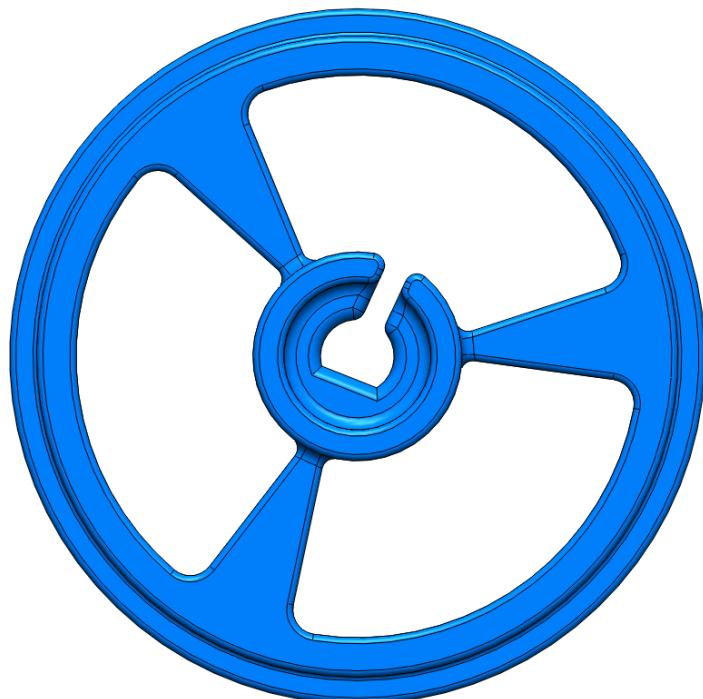


Obrázek 52: Válečkový (10) a prstencový magnet (11)

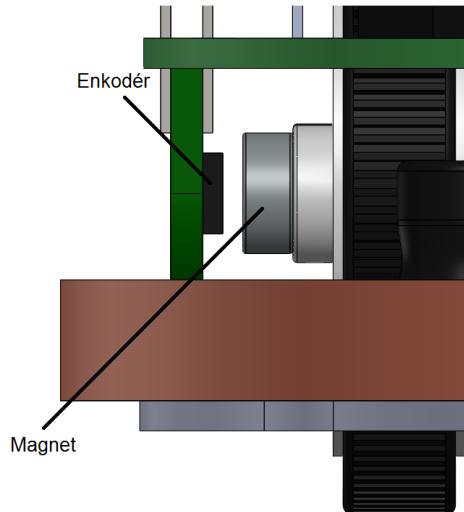
Tento magnet má výhodu toho, že se dá přichytit do osy kola. Nebylo by tedy nutné měnit rozdíl kola a upravovat uchycení motoru. Proto jsem vytvořil nové kolo, které má stejný průměr, ale obsahuje otvor pro uchycení válečkového magnetu. Na obrázku 55 je znázorněno umístění enkodéru a válečkového magnetu.



Obrázek 53: Původní kolo



Obrázek 54: Upravené kolo s drážkou na válečkový magnet



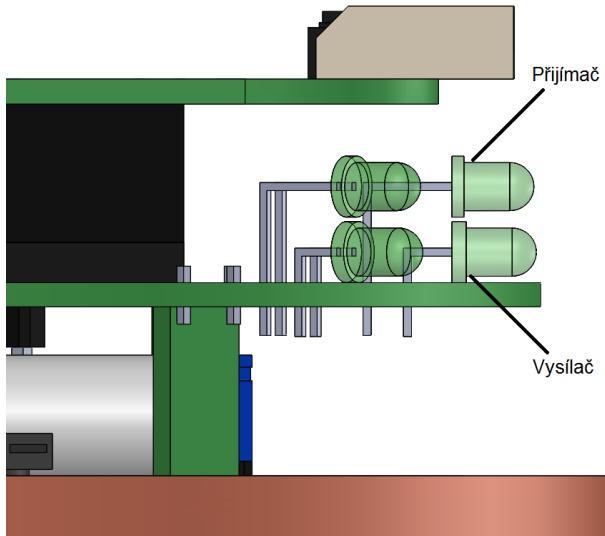
Obrázek 55: Umístění magnetu a enkodéru

4.4 Jak umístit IR senzor

Funkce IR senzoru je taková, že světelný paprsek, který vyšle vysílač, je odražen od překážky zpět na přijímač, a ten jej zpracuje a převede ze světelného signálu, na signál elektrický. Aby senzor pracoval správně, musí být umístěný tak, aby signál dopadl na přijímač, na který má. To znamená, že signál, vyslaný vysílačem A musí zachytit přijímač, který je u tohoto vysílače, a ne vysílač B, který je jinde. Dále jsem chtěl vysílat signál v ose senzoru, a tak zde byly tři možnosti:

1. vysílač by byl nad deskou a přijímač pod deskou (nebo naopak), tak, že by jejich osa byla kolíneární
2. vysílač i přijímač by byly na desce vedle sebe, čímž bychom zabrali více místa na desce
3. vysílač by se umístil více k hraně desky a přijímač by se umístil těsně za něj, tak, aby nedošlo k jejich fyzickému propojení a záhy ke zkratu, a jejich osy by byly také kolíneární

Rozhodl jsem se použít variantu číslo 3, protože nám umožní ušetřit místo na DPS a zajistí osou venu kolinearitu viz obrázek 56.



Obrázek 56: Umístění IR senzorů

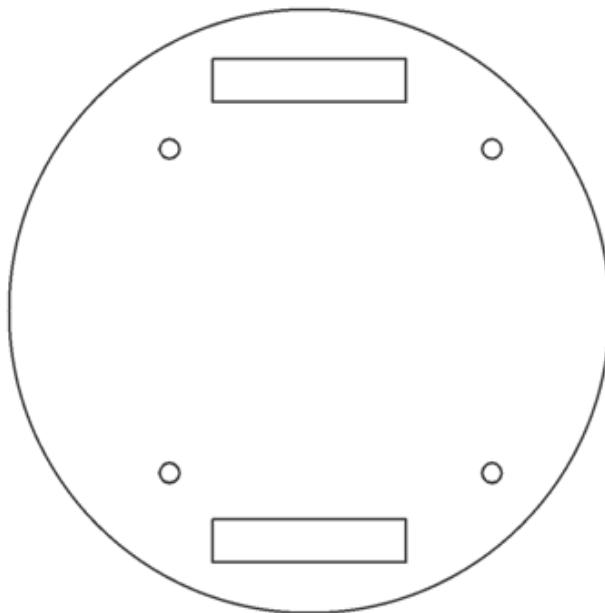
4.5 Kolik používat IR senzorů, popřípadě, jak je rozmístit

V prvním návrhu jsem chtěl, aby nadstavbová deska měla 12 senzorů na shieldu, které by byly od sebe vychýleny vždy o 30° . Nakonec se mně tato varianta zdála nevhodná, protože by senzory zabírali spoustu místa na shieldu a nožiček na procesoru. Z toho důvodu jsem se rozhodl, že nepotřebují mít tolik senzorů na boční straně a jejich počet jsem zredukoval. Došel jsem k závěru, že bude nejlepší na přední část desky, umístit 3 senzory. Jeden by byl v ose desky, druhý senzor vychýlen o 30° nalevo, a stejně tak i třetí senzor, ovšem doprava. Stejná varianta by byla i v zadní části desky a na boky mně stačily senzory 2 (na každou stranu 1). Dále jsem zvažoval, jestli ne-přidat jeden senzor také do vnitřní části desky. Jeho funkci by si uživatel mohl zvolit sám, podle toho, co potřebuje. Dal by se využít jako optické stop tlačítko, které by zastavilo robota. Můj shield má ve výsledku devět senzorů.

5 Routování

V této kapitole popisuji, jak jsem postupoval při vytváření shieldu. Moje deska bude čtyř vrstvá. To znamená, že kromě vrchní (Top) a spodní (Bot) vrstvy, mám i dvě vnitřní, pojmenované jako GND a POWER. Tyto vrstvy slouží především pro rozvod napájení a zaroutování všech drah.

5.1 Vytvoření obrysu

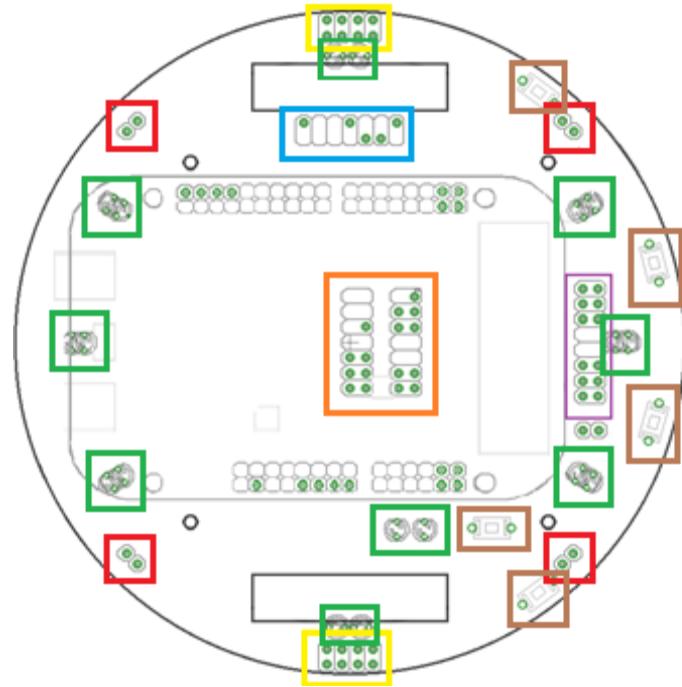


Obrázek 57: Obrys desky

Obrázek 57 zobrazuje výsledný tvar shieldu. Deska má v průměru 110 mm. Obdélníkové otvory v horní a spodní části robota jsou otvory na kola. Jelikož bude deska umístěna těsně nad samotnými motory, tak je zapotřebí vytvořit tyto otvory, které umožní plynulý chod kol. Čtyři malé kruhové otvory jsou díry na distanční sloupky. Pokud by tu nebyly, tak by shield byl přidržován pouze pomocí pinů a to by vedlo k jejich ulomení.

5.2 Umístění součástek, u kterých známe přesnou polohu

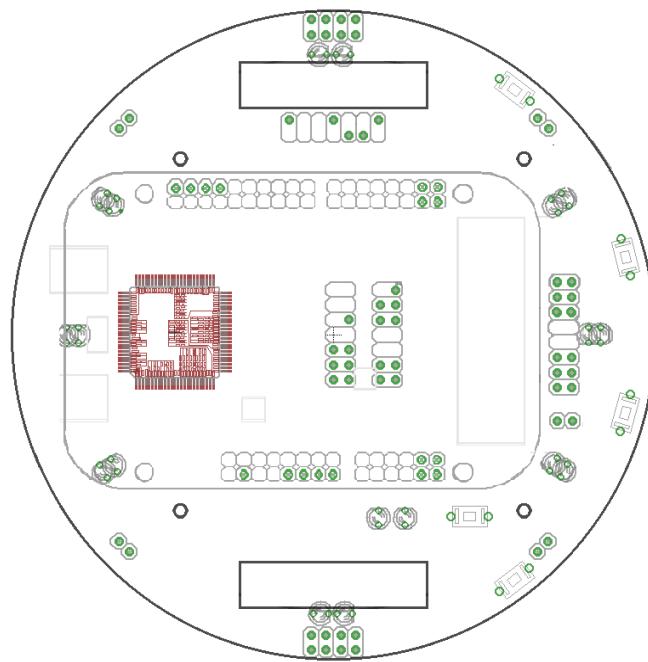
Dalším důležitým krokem je rozmístění komponent, o kterých víme, kde budou určitě umístěny, viz obrázek 58. Těmito součástkami jsou IR senzory (zeleně označené), indukční (červeně označené), enkodéry (žlutě označené), pinheady, které je potřeba propojit se spodní deskou (oranžově označené), dutinka pro displej (fialově označená), pinhead pro připojení bluetooth modulu (modře označen) a tlačítka (hnědě označeny). Z důvodu, že na mému shieldu bude použita UP, tak je zapotřebí jej nějakým způsobem napozicovat na shield, i kdyby jen orientačně. V případě, že by se na shield nevlezla, tak bych musel předělávat celý shield a místo si vytvořit. Z toho důvodu je důležité si UP umístit včas.



Obrázek 58: Umístěné součástky, o kterých jsem věděl, kde budou

5.3 Umístění AVR Xmegy

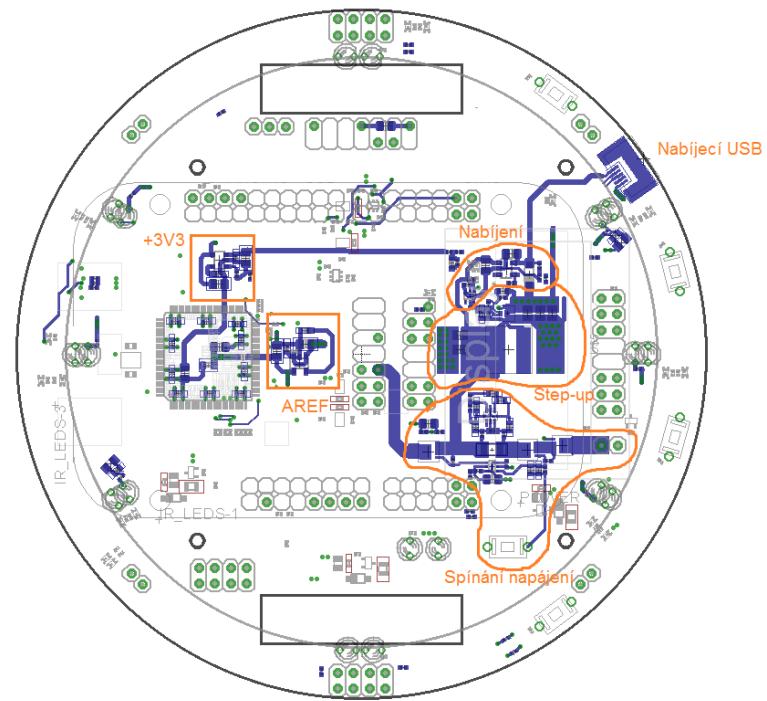
Umístění CPU je důležitou krokem, který není dobré podcenit. Při špatném umístění může nastat problém v křížení drah, což nutí návrháře přecházet mezi vrstvami, a tím pádem častěji využívat prokovy. Každý prokov nám ovšem zvyšuje odpor dané dráhy. V případě signálových drah to většinou není problém, ale u napájení to může způsobovat velké problémy. Z toho důvodu je zapotřebí umístit CPU tak, aby se mohly jednotlivé vývody propojit s minimálním křížením. Umístění je zobrazeno na obrázku 59. (Pokud je součástka červená, tak to znázorňuje její umístění ve vrchní vrstvě a pokud by byla modrá, tak je umístěna ve spodní vrstvě)



Obrázek 59: Umístění CPU

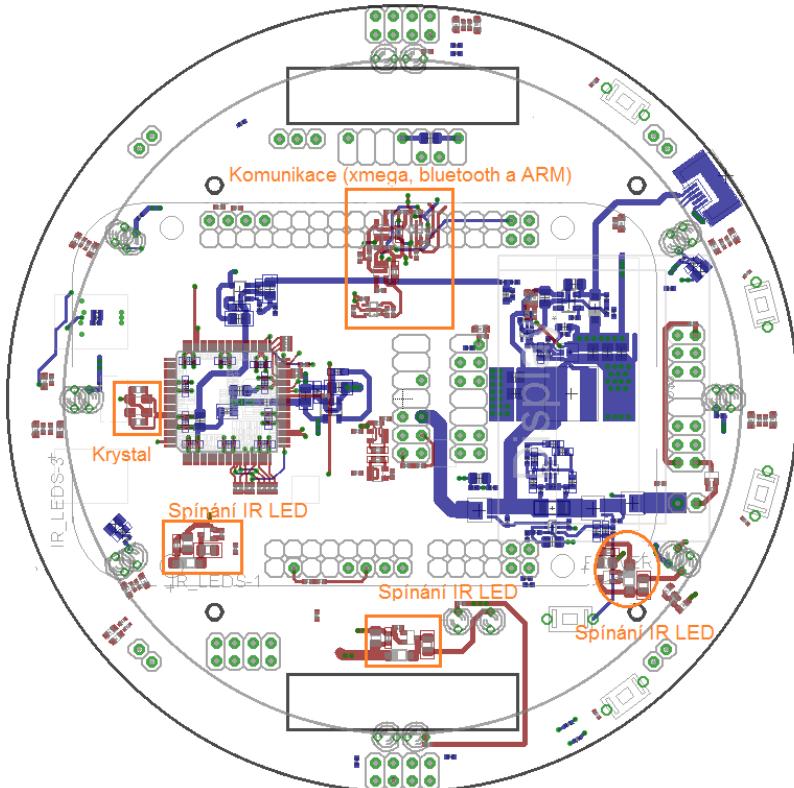
5.4 Napájení

Po uspořádání pevně daných součástek, je potřeba přejít na napájení. Návrh napájení je asi nejdůležitější část návrhu, protože na něm závisí funkčnost veškerých komponentů. Je proto nutné natáhnout silové napájecí dráhy, jako první, abychom mohli zajistit potřebné parametry a nebyli omezováni jinými dráhami. Toto napájení obsahuje step-up, +3V3 stabilizátor, AREF stabilizátor, nabíjení, filtrační kondenzátory a samotnou část spínání napájení (výkonovou část). Na obrázku 60 je znázorněno routování zmíněného napájení. Součástky, které jsou okolo, jsou pouze orientačně rozmištěny, ale nejsou zaroutovány. Pro ukázku jsem přidal do obrázku i vnitřní kružnice, reprezentující původní velikost 3pi.



Obrázek 60: Napájení shieldu

5.5 Zaroutovaná komunikace a spínání IR LED



Obrázek 61: Routování komunikace a spínání IR LED

Závěr

Navrhl jsem čtyřvrstvou desku, která obsahuje všechny výše uvedené funkce, dále také desku s indukčním senzorem a enkodérem.

Deska nyní obsahuje tyto funkce:

1. zařízení ke zjištění své pozice (natočení, posunutí, ...) pomocí:
 - a. enkodéru
 - b. gyroskopu
 - c. magnetometru
 - d. akcelerometru
2. konstrukci pro uchycení enkodérů
3. IR senzor pro detekci překážky
4. STOP tlačítko k vypnutí při neočekávané či nežádoucí situaci
5. indukční senzory pro detekci nárazu a přibližného místa kolize
6. nárazník k ochraně robota před nárazy a uchycení indukčních senzorů
7. kompatibilita s různými přídavnými deskami, pinově kompatibilní s Arduino UNO (např.: FRDM KL25Z, NUCLEO-F103RB)
8. nabíjení pomocí Li-pol baterií, včetně:
 - a. ochrana proti přepólování
 - b. spínání hlavního napájení
 - c. spínání napájení pro 3pi
 - d. měření proudu a napájení

Všechny výše uvedené funkce byly navrženy a zhotoveny. Díky tomuto shieldu bude možné využít robota Pololu 3pi na jiných disciplínách než doposud. Dalším zlepšením do budoucna by mohlo být například vytvořit vlastního "3pi" podvozku. Tento podvozek by umožnil odebrání jednoho procesoru, který je na základním modelu robota.

V rámci práce jsem navrhl kompletní model robota Pololu 3pi, v programu SolidWorks (12).

Aktuality z mého projektu můžete sledovat na stránce:

<https://goo.gl/bjw7Zc>



Literatura

1. Pololu Corporation. Pololu 3pi Robot. pololu.com. [Online] [Citace: 12. Únor 2017.] <https://www.pololu.com/product/975>.
2. CzechDUINO.cz. Co je Arduino? - CzechDUINO.cz - První český Arduino obchod. Czechduino.cz. [Online] Quick.Cart, 2014. [Citace: 13. duben 2017.] <http://czechduino.cz/?co-je-to-arduino,29>.
3. SparkFun Electronics ®. What is an Arduino? - learn.sparkfun.com. sparkfun.com. [Online] [Citace: 14. duben 2017.] <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino>.
4. Mbed. Mbed.com. [Online] [Citace: 13. duben 2017.] <https://www.mbed.com/en/>.
5. Distributor of Programmers, Development Systems. Express-Technology.com. [Online] [Citace: 13. duben 2017.] <https://www.express-technology.com/part-types/programmers-development-systems/D62-78.htm>.
6. Atmel. ATxmega64A1U, ATxmega128A1U datasheet. mouser.com. [Online] Září 2014. [Cited: Leden 25, 2017.] <http://www.mouser.com/ds/2/268/atmel-8385-8-and-16-bit-avr-microcontroller-atxmeg-1065779.pdf>.
7. SEIKO EPSON CORPORATION. 1897372.pdf. farnell.com. [Online] [Cited: Leden 25, 2017.] http://www.farnell.com/datasheets/1897372.pdf?_ga=1.224841944.395098184.1445984743.
8. Microchip. MCP73831/2 Data Sheet. farnell.com. [Online] 25. březen 2014. [Citace: 5. Únor 2017.] http://www.farnell.com/datasheets/2124927.pdf?_ga=1.11007350.395098184.1445984743.
9. Texas instruments. Farnell.com. [Online] Květen 2016. [Citace: 5. Únor 2017.] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61236.pdf>.
10. Conrad Electronic. Permanentní magnet, válcový, N35EH, 1.2 T, Max. pracovní teplota: 200 °C, 10 x 10 mm | Conrad.cz. Conrad.cz. [Online] [Citace: 13. Únor 2017.] <https://www.conrad.cz/permanentni-magnet-valcovy-n35eh-1-2-t-max-pracovni-teplota-200-c-10-x-10-mm.k505915>.
11. Spezial Electronic. Lineární magnetické enkodéry. Spezial Electronic. [Online] 2013 www.spezial.cz. [Citace: 13. Únor 2017.] <http://www.spezial.cz/news/linearni-magneticke-enkodery-s-inkrementalnim-vystupem.html>.
12. Bobčík, Petr. pololu_3pi_doplnky - technika.tasemnice.eu. http://technika.tasemnice.eu. [Online] [Citace: 23. Únor 2017.] http://technika.tasemnice.eu/trac/wiki/pololu_3pi_doplnky.

13. Ježek, Adam. ITnetwork.cz. [Online] 2015. [Citace: 25. Leden 2016.] <http://www.itnetwork.cz/hardware-pc/arduino/arduino-seznameni>.
14. mbed. FRDM-KL25Z | mbed. developer.mbed.org. [Online] [Citace: 5. Leden 2017.] <https://developer.mbed.org/platforms/KL25Z/>.
15. —. FRDM-KL46Z | mbed. developer.mbed.org. [Online] [Citace: 5. Leden 2017.] <https://developer.mbed.org/platforms/FRDM-KL46Z/>.
16. —. FRDM-K64F | mbed. developer.mbed.org. [Online] [Citace: 5. Leden 2017.] <https://developer.mbed.org/platforms/FRDM-K64F/>.
17. Beránek, Roman. Proč je citování nutná pakárna. Rozhovory se SOČkaři. Brno, 21. 10 2014.
18. VUT. Státní závěrečné zkoušky. Fakulta informačních studií Vysokého učení technického. [Online] [Citace: 10. 10 2014.] <http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Celkový pohled na finální verzi robota	8
Obrázek 2: Pololu 3pi (1).....	9
Obrázek 3: Pohled na Pololu 3pi ze shora (1).....	10
Obrázek 4: Arduino UNO (3)	11
Obrázek 5: Mbed deska (FRDM KL46Z) (5)	12
Obrázek 6: Blokové schéma.....	16
Obrázek 7: 3D model k blokovému schématu.....	17
Obrázek 8: Napájení CPU	18
Obrázek 9: Připojení krystalu.....	19
Obrázek 10: Komunikace mezi CPU a UP	19
Obrázek 11: Prohozené piny TX a RX	19
Obrázek 12: Připojení nabíjecího USB.....	20
Obrázek 13: Programovací konektor.....	20
Obrázek 14: Připojení enkodérů.....	21
Obrázek 15: Komunikace mezi CPU a 3pi	22
Obrázek 16: Digitální piny na pinech PH0-PH7.....	22
Obrázek 17: Digitální piny připojeny k AVR Xmeze na pinech PJ0-PJ7	23
Obrázek 18: Připojení analogových signálů.....	23
Obrázek 19: Napájecí část UP	24
Obrázek 20: Obvod, umožňující zjistit, která deska je připojena	25
Obrázek 21: Komunikace UP s Bluetooth	25
Obrázek 22: Komunikace mezi UP a CPU	25
Obrázek 23: Vysílač IR senzoru.....	26
Obrázek 24: Přijímač IR senzoru	27
Obrázek 25: Magnetometr, gyroskop a akcelerometr	28
Obrázek 26: Čip pro měření indukčnosti	29
Obrázek 27: schéma indukčního senzoru.....	29
Obrázek 28: Deska s indukčním senzorem	30
Obrázek 29: Enkodér.....	30
Obrázek 30: Deska s enkodérem	31
Obrázek 31: Výsledná destička s enkodérem.....	31
Obrázek 32: Vyrobená destička s enkodérem.....	31
Obrázek 33: Komunikace mezi CPU, bluetooth a UP	32
Obrázek 34: Zapojení displej.....	33
Obrázek 35: Připojení baterií a ochrana proti přepólování	33
Obrázek 36: Spínání celkového napájení	34
Obrázek 37: Měření napětí.....	35
Obrázek 38: Měření proudu.....	35
Obrázek 39: Spínaní napětí pro 3pi a zapínání samotného 3pi.....	36
Obrázek 40: USB a nabíjecí čip	37
Obrázek 41: Step-up	38
Obrázek 42: stabilizátor 3V3.....	38
Obrázek 43: stabilizátor AREF.....	39

Obrázek 44: Signalizační LED LED_0 – LED_7	39
Obrázek 45: Signalizační LED pro stanovenou funkci	40
Obrázek 46: Senzory odrazu	41
Obrázek 47: Poloviční nárazník	42
Obrázek 48: Nárazník kolem celého 3pi, po zaoblen	42
Obrázek 49: Nárazník po radikálním zjednodušení	43
Obrázek 50: Poslední varianta nárazníku s tlumící pěnou	44
Obrázek 51: Rozdíl v šířce shieldu a tlumící pěny	44
Obrázek 52: Válečkový (10) a prstencový magnet (11)	45
Obrázek 53: Původní kolo	46
Obrázek 54: Upravené kolo s drážkou na válečkový magnet	46
Obrázek 55: Umístění magnetu a enkodéru	47
Obrázek 56: Umístění IR senzorů	48
Obrázek 57: Obrys desky	49
Obrázek 58: Umístěné součástky, o kterých jsem věděl, kde budou	50
Obrázek 59: Umístění CPU	51
Obrázek 60: Napájení shieldu	52
Obrázek 61: Routování komunikace a spínání IR LED	52
Obrázek 62: FRDM KL25Z (14)	59
Obrázek 63: FRDM KL46Z (15)	60
Obrázek 64: FRDM K64F (16)	61
Obrázek 65: Schéma: CPU (Control procesor unit – AVR Xmega A1)	62
Obrázek 66: Schéma: UP (User procesor – Mbed/Arduino)	63
Obrázek 67: Schéma:IR_SENSORS (IR senzory)	64
Obrázek 68: Schéma: MOTION_SENSORS (Pohybové senzory)	65
Obrázek 69: Schéma: COMMUNICATION (Komunikace)	66
Obrázek 70: Schéma: POWER (Napájení)	67
Obrázek 71: Schéma: CHARGING (Nabíjení)	68
Obrázek 72: Schéma: REGULATORS (Stabilizátory)	69
Obrázek 73: Schéma: LEDS (Signalizační LED)	70
Obrázek 74: Pohled na robota s mým shieldem, z boku	71
Obrázek 75: Pohled na robota s mým shieldem, zepředu	71
Obrázek 76: Pohled na robota s mým shieldem, ze shora	72
Obrázek 77: Pohled na robota s mým shieldem, zespod	72
Obrázek 78: Celkový pohled na robota s mým shieldem	73
Obrázek 79: Pohled na shield ze shora	74
Obrázek 80: Pohled na shield ze spod	75
Obrázek 81: Pohled na shield, připojený k robotovi, ze shora	76

Seznam symbolů, veličin a zkratek

Arduino – Open-source platforma pro snadný vývoj programovatelných zařízení, založena přimárně na procesorech AVR od firmy Atmel. (13) Je vhodná jak pro začínající uživatele, tak pokročilé, kteří s ní mohou volně experimentovat a jednoduše realizovat své projekty. V případě, že jim nestačí funkce, které deska nabízí, je možné zakoupit rozšíření, které se pouze propojí s původním Arduinem.

ARM – Pod touto značkou se v informatice označuje architektura procesorů, které jsou výhodné zejména kvůli své nízké spotřebě elektrické energie. Používají se například v mobilních telefonech, domácích spotřebičích, automobilech, letadlech atd...

CPU (Control Procesor Unit) – Hlavní řídící procesor AVR Xmega A1U, osazený na shieldu. Slouží k vyhodnocování hodnot ze senzorů (enkopér, IR, indukční, polohové, ...) a komunikace s dalšími procesory a zařízeními. Jeho klíčovým úkolem je i oddělení hlavního řídícího (časově kritického) programu od uživatelského.

DPS – Deska plošného spoje

FRDM – Freedom Development Platform, neboli svobodná vývojová platforma, obsahující několik programovatelných desek od firmy NXP. Je založena na platformě Mbed, která využívá ARMové procesory. Její zacílení je jak na průmyslové, tak i domácí projekty. Mbed je podporován hlavními výrobci v oboru vestavěných zařízení.

IMU (Inertial Motion Unit) – Inerciální polohová jednotka kombinuje vždy více senzoru jako akcelerometr, gyroskop, magnetometr a případně obsahuje signálový procesor.

MBED – Mbed je platforma poskytující operační systém, cloudové služby a vývojářské prostředí pro tvorbu komerčních systémů založených na standardech IoT.

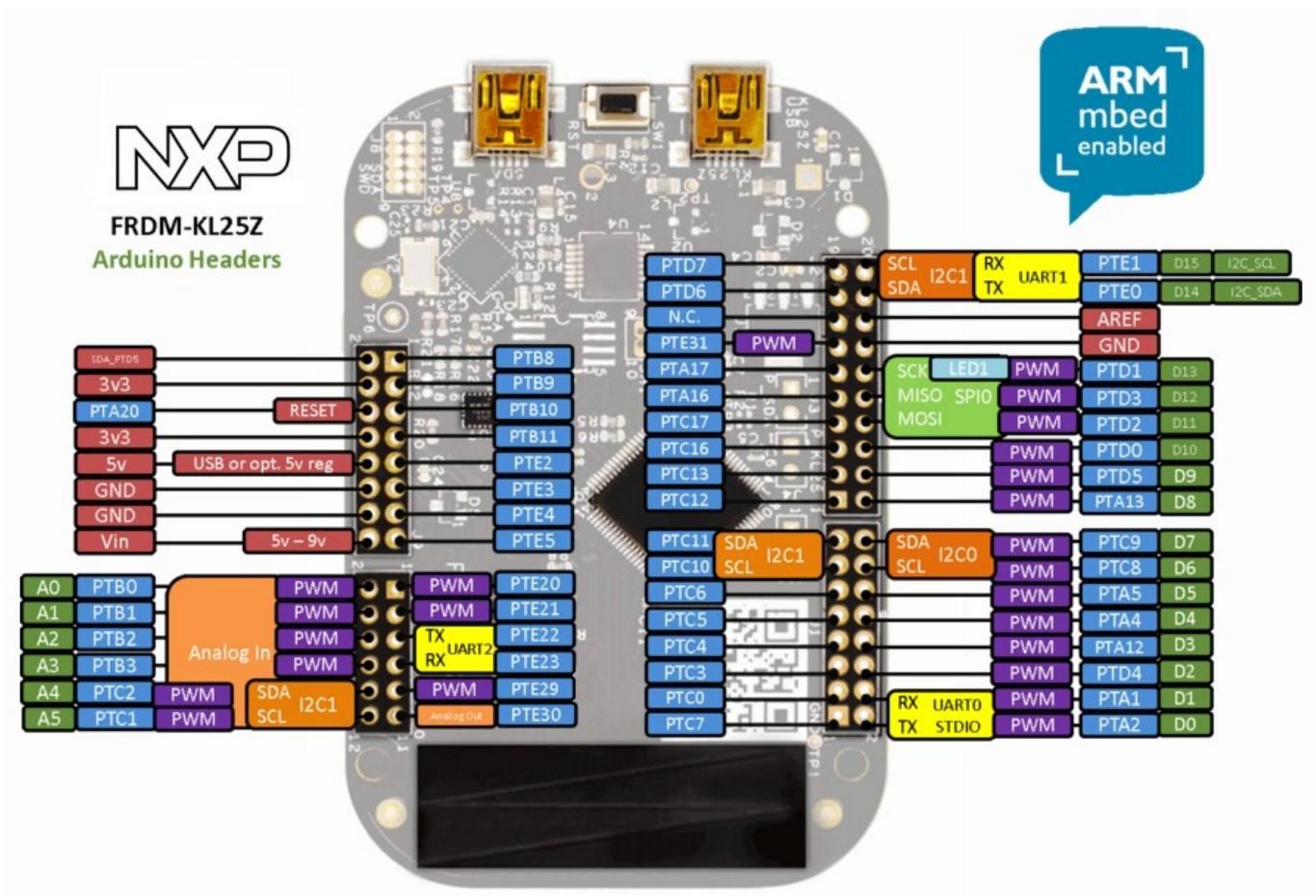
MPU (Motor Processing Unit) – Robot Pololu 3pi s procesor ATmega328P, který se využívá k ovládání motorů a zjišťování polohy čáry.

Pull-down rezistor – Jedná se o rezistor, který se používá například u MOS-FET tranzistorů. Jeho funkce je, jak již z názvu vyplývá, připojení daného vývodu dolů, čili k zemi (GND). Opakem je pull-up rezistor, který připojuje ke kladnému napětí (například +5 V). V případě, že by vývod, na který je připojen tranzistor, nedodal logickou hodnotu 1 ani 0, tak by se vývod nacházel ve stavu, tzv. high impedance. Tento stav je nežádoucí, jelikož zařízení nemá definovaný stav (nevíme, zda je tranzistor otevřený nebo ne).

Shield – Mnou vytvořena nadstavbová deska na robota Pololu 3pi

UP (User Processing Unit) – Vývojový kit na platformě Mbed nebo jiných Arduino kompatibilních deskách. Je určena pro uživatelský program. Není umístěn na shieldu, ale připojuje se přes navržené piny jako externí modul.

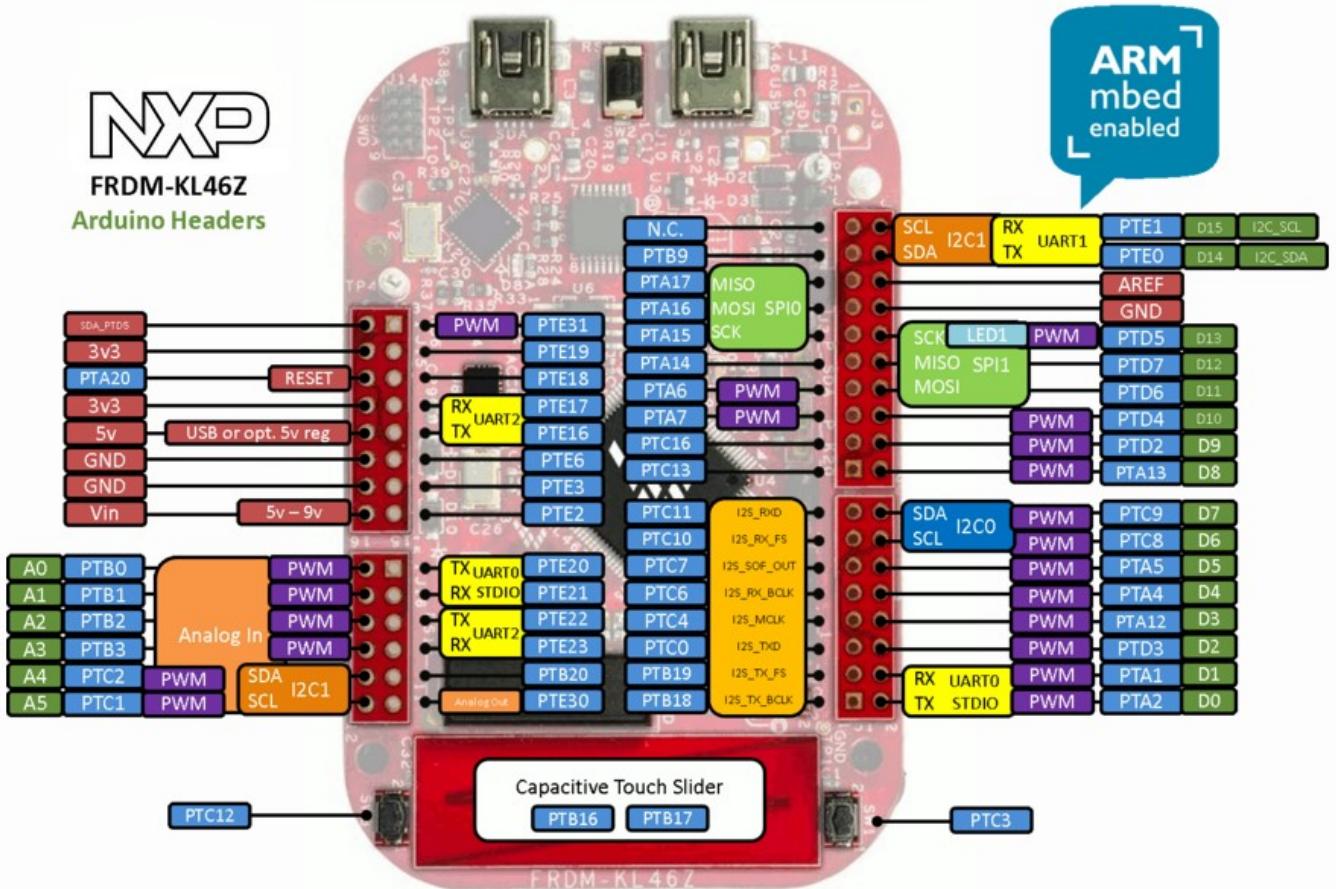
Přílohy



Obrázek 62: FRDM KL25Z (14)

NXP

FRDM-KL46Z
Arduino Headers

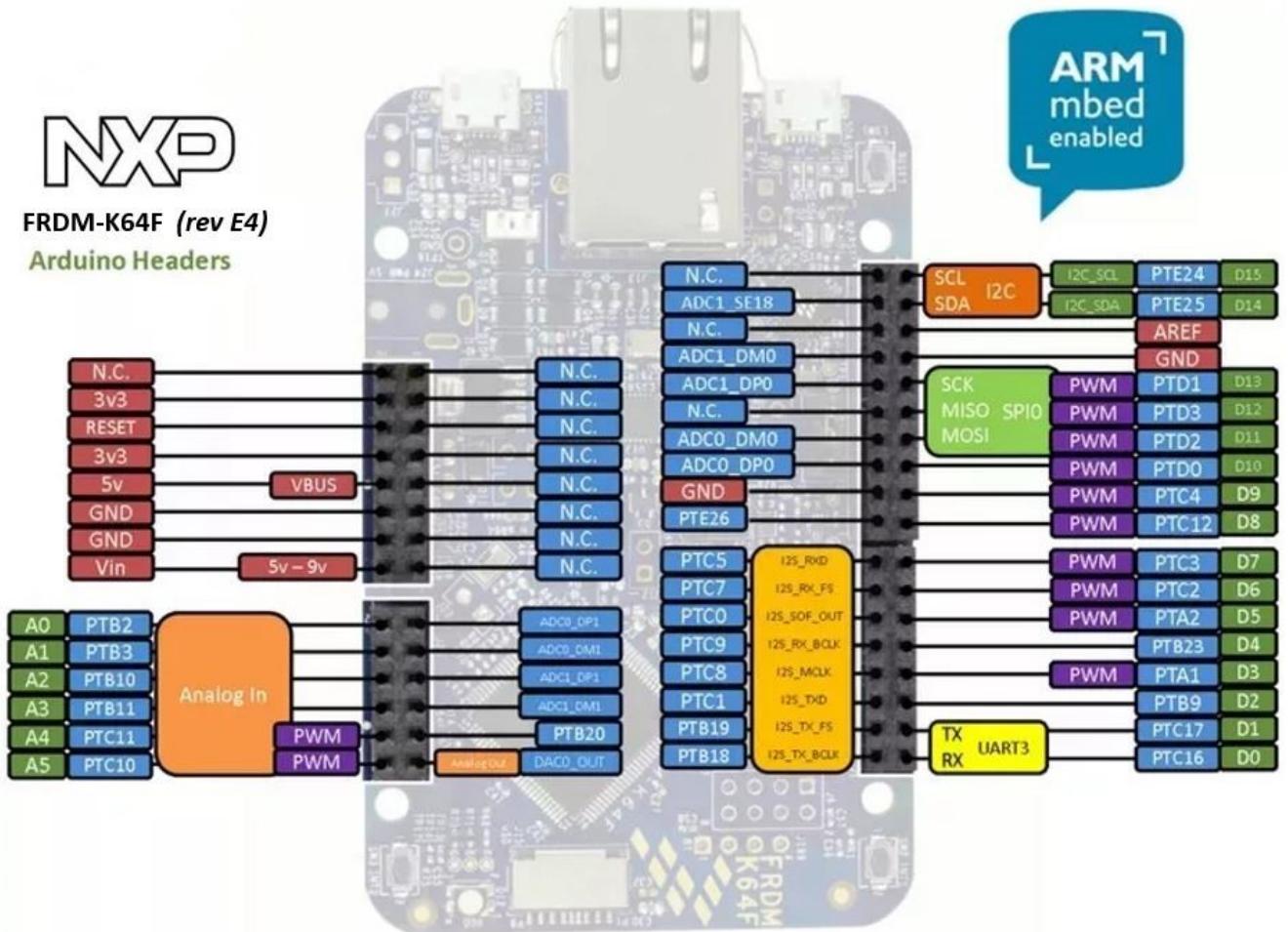


Obrázek 63: FRDM KL46Z (15)

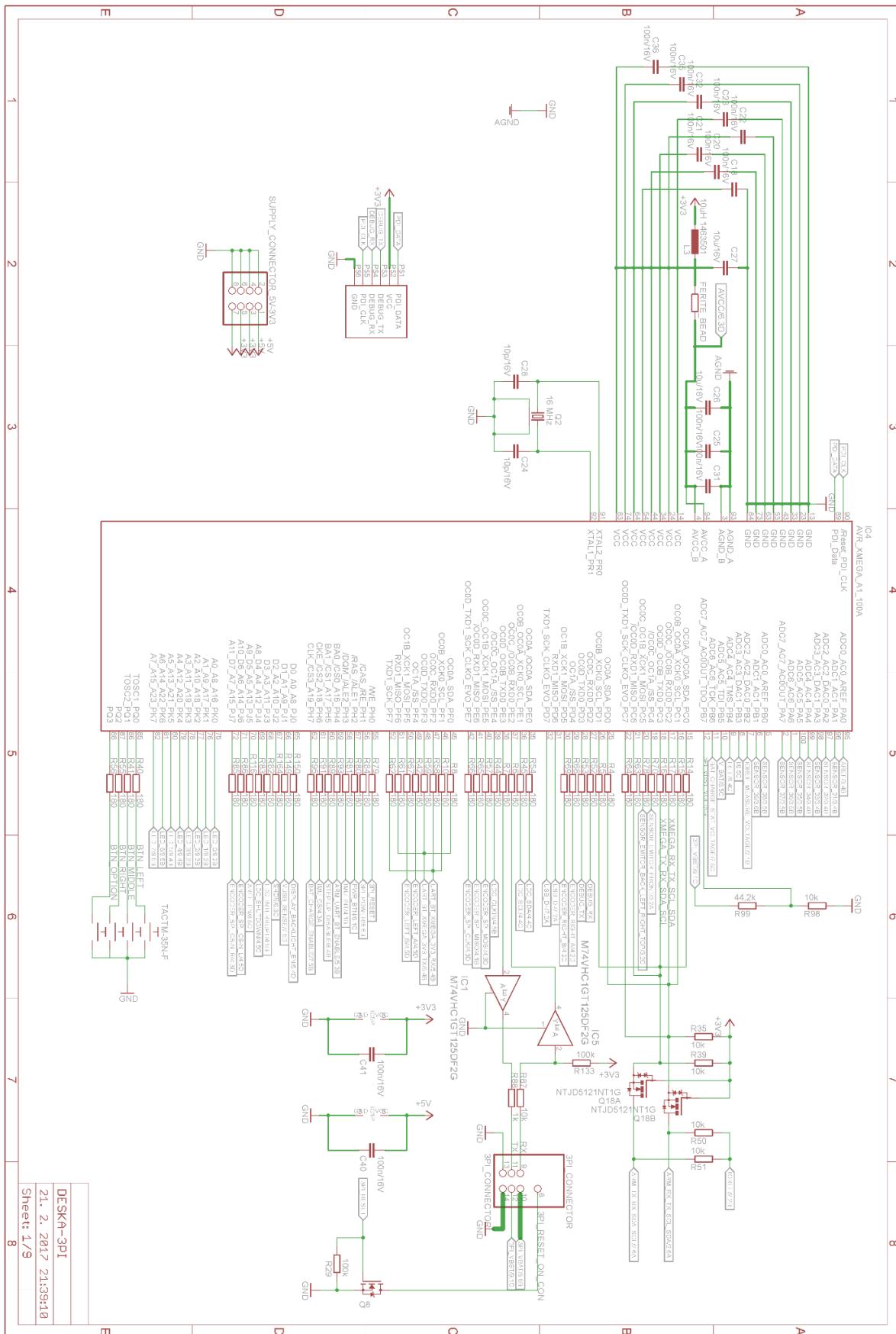
NXP

FRDM-K64F (rev E4)

Arduino Headers

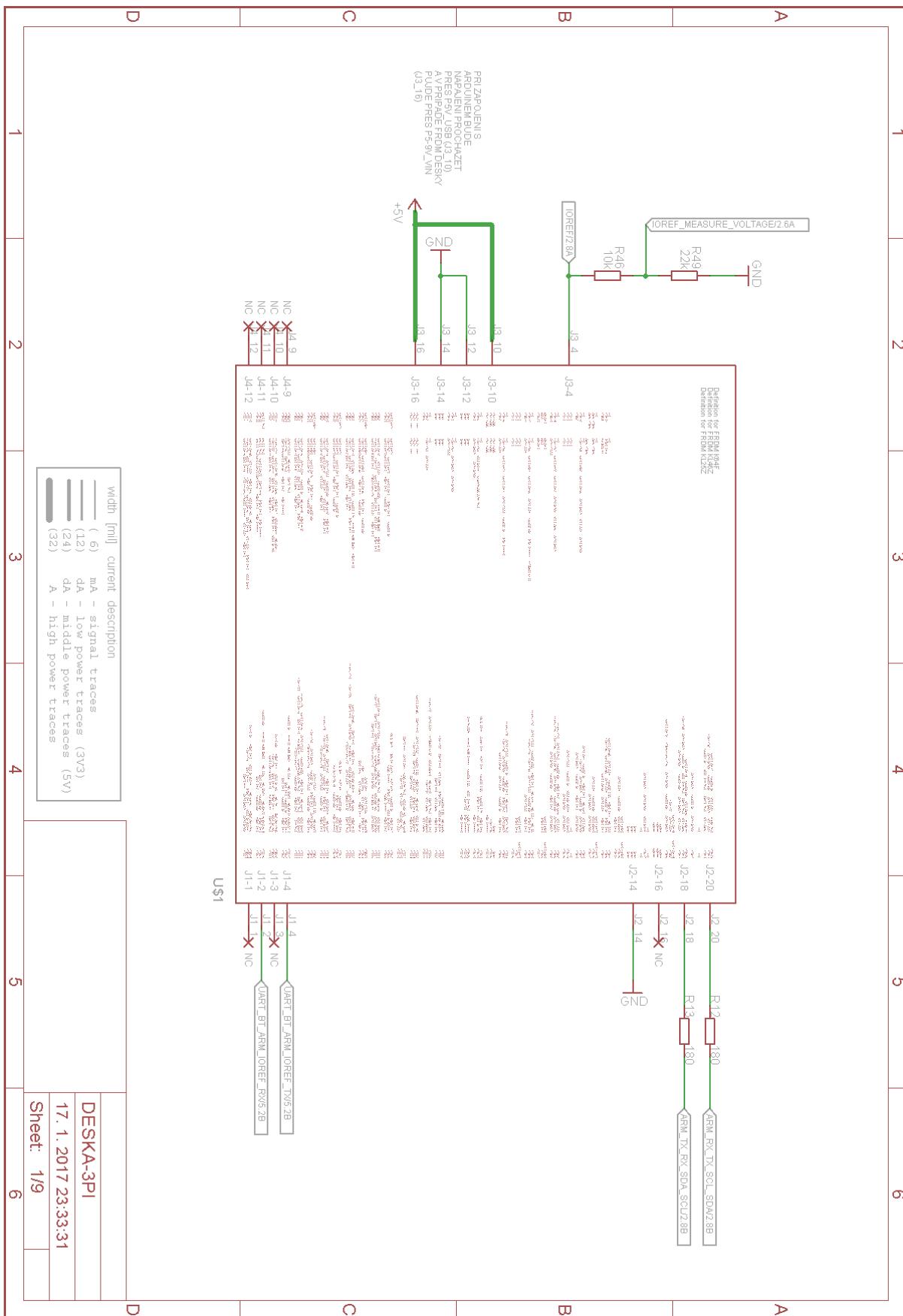


Obrázek 64: FRDM K64F (16)

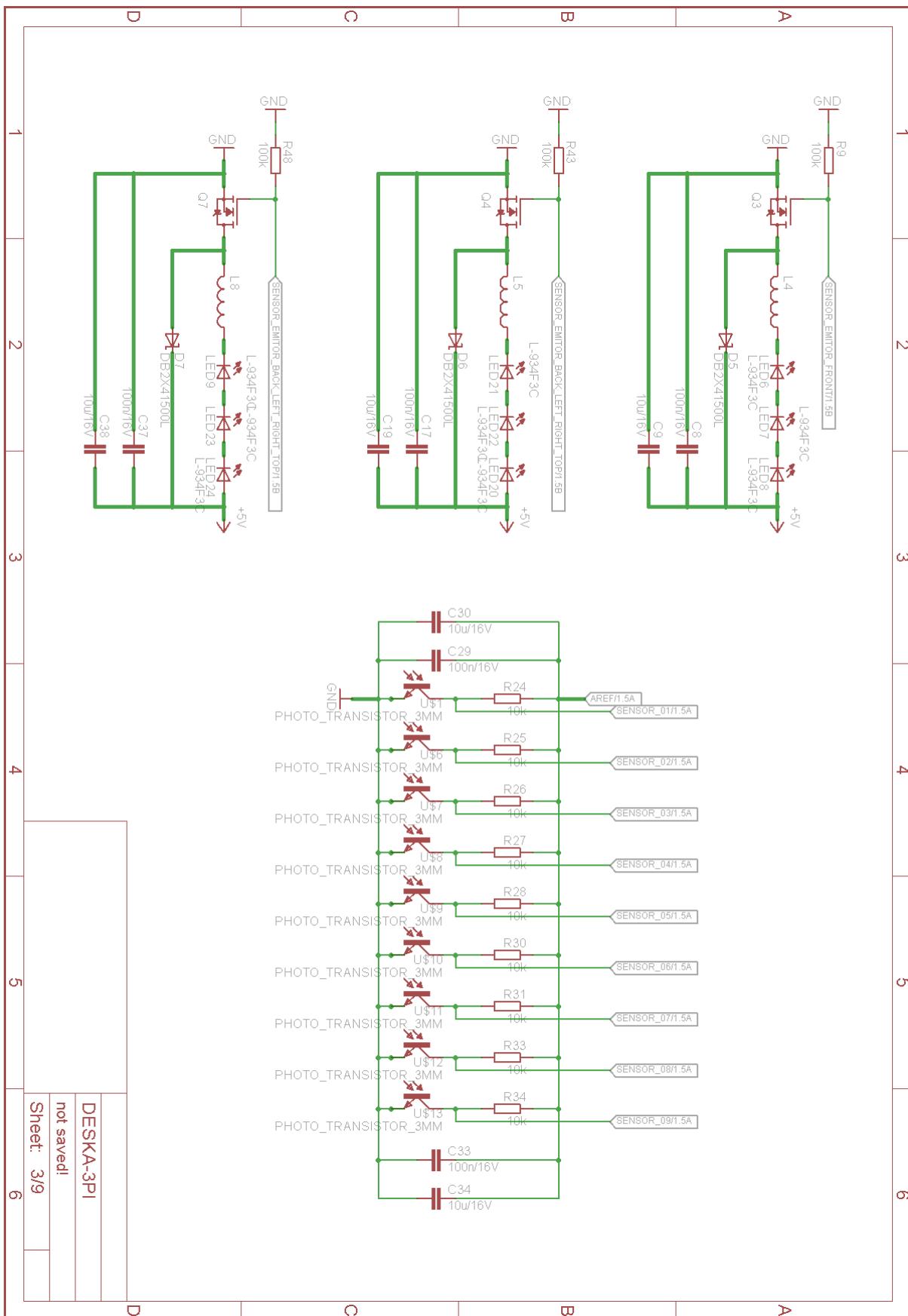


Obrázek 65: Schéma: CPU (Control procesor unit – AVR Xmega A1)

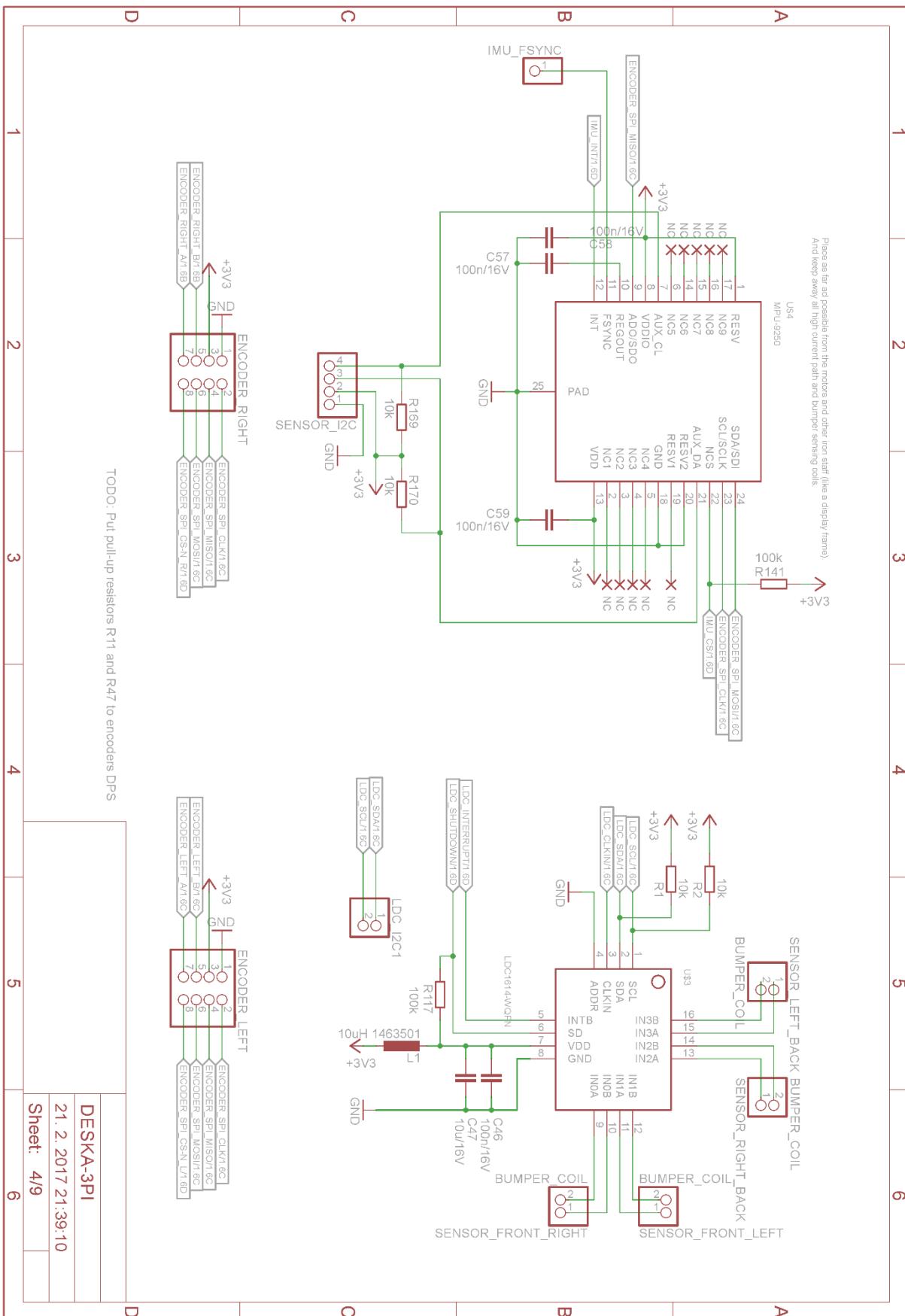
1 2 3 4 5 6



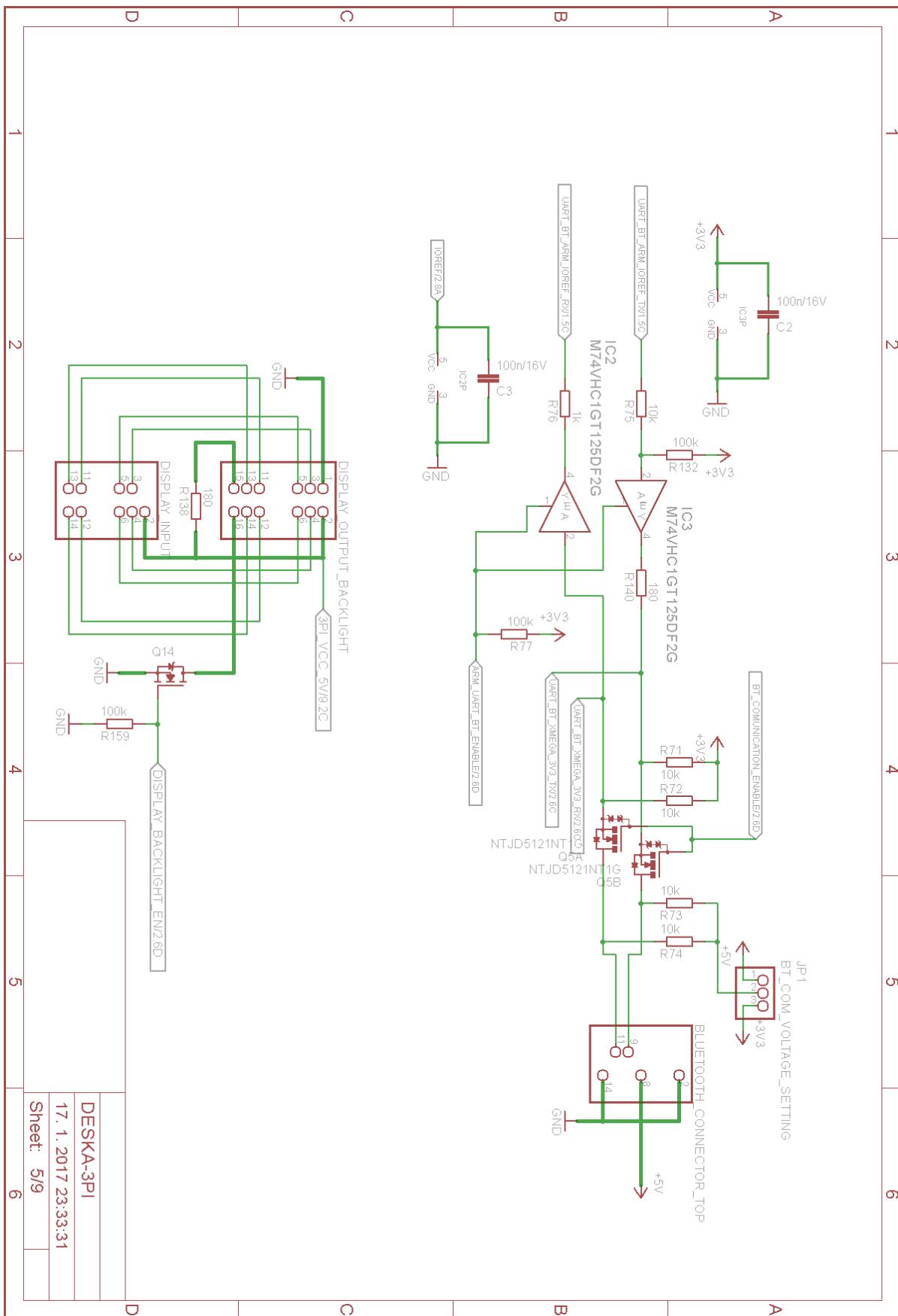
Obrázek 66: Schéma: UP (User procesor – Mbed/Arduino)



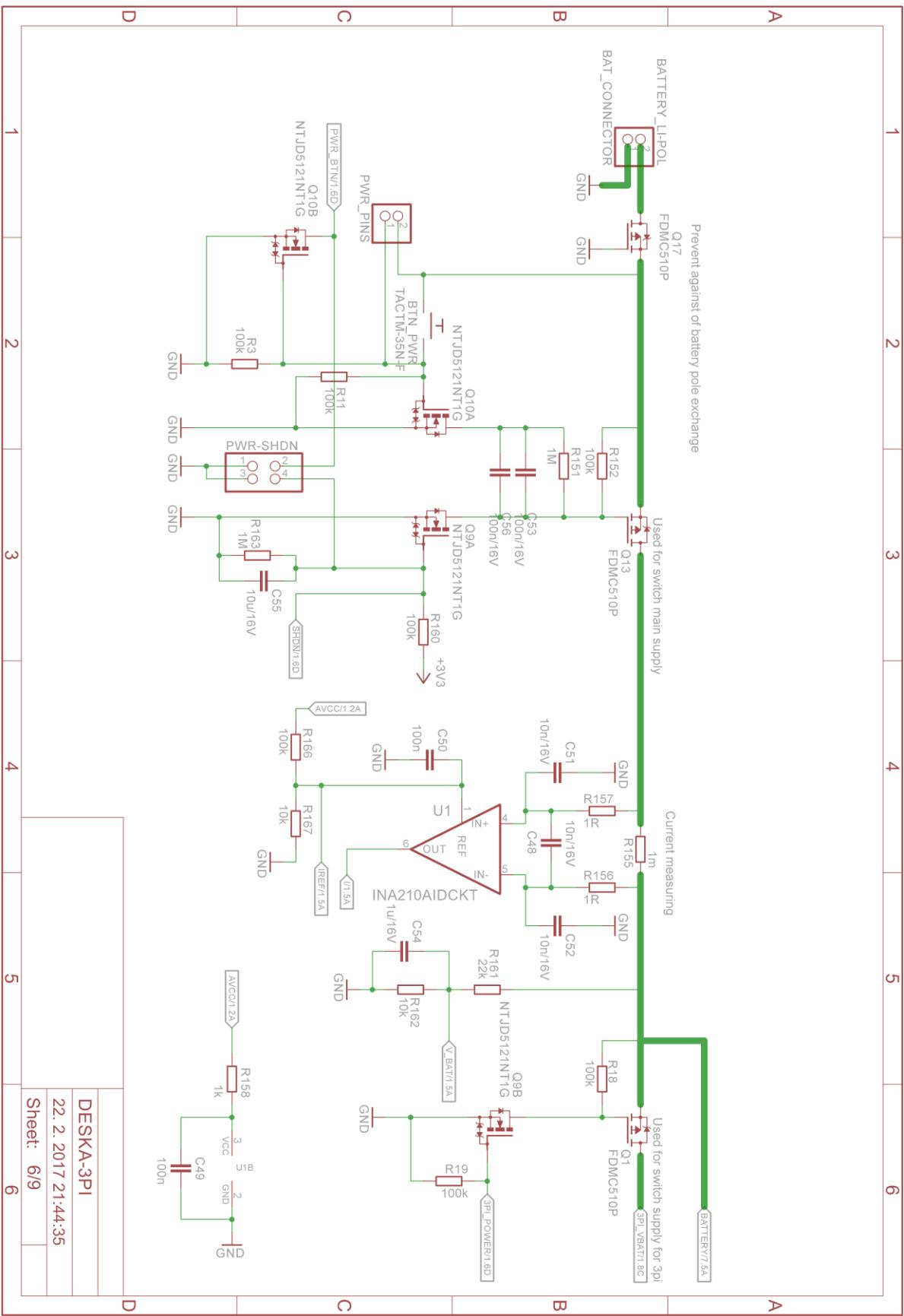
Obrázek 67: Schéma:IR_SENSORS (IR senzory)



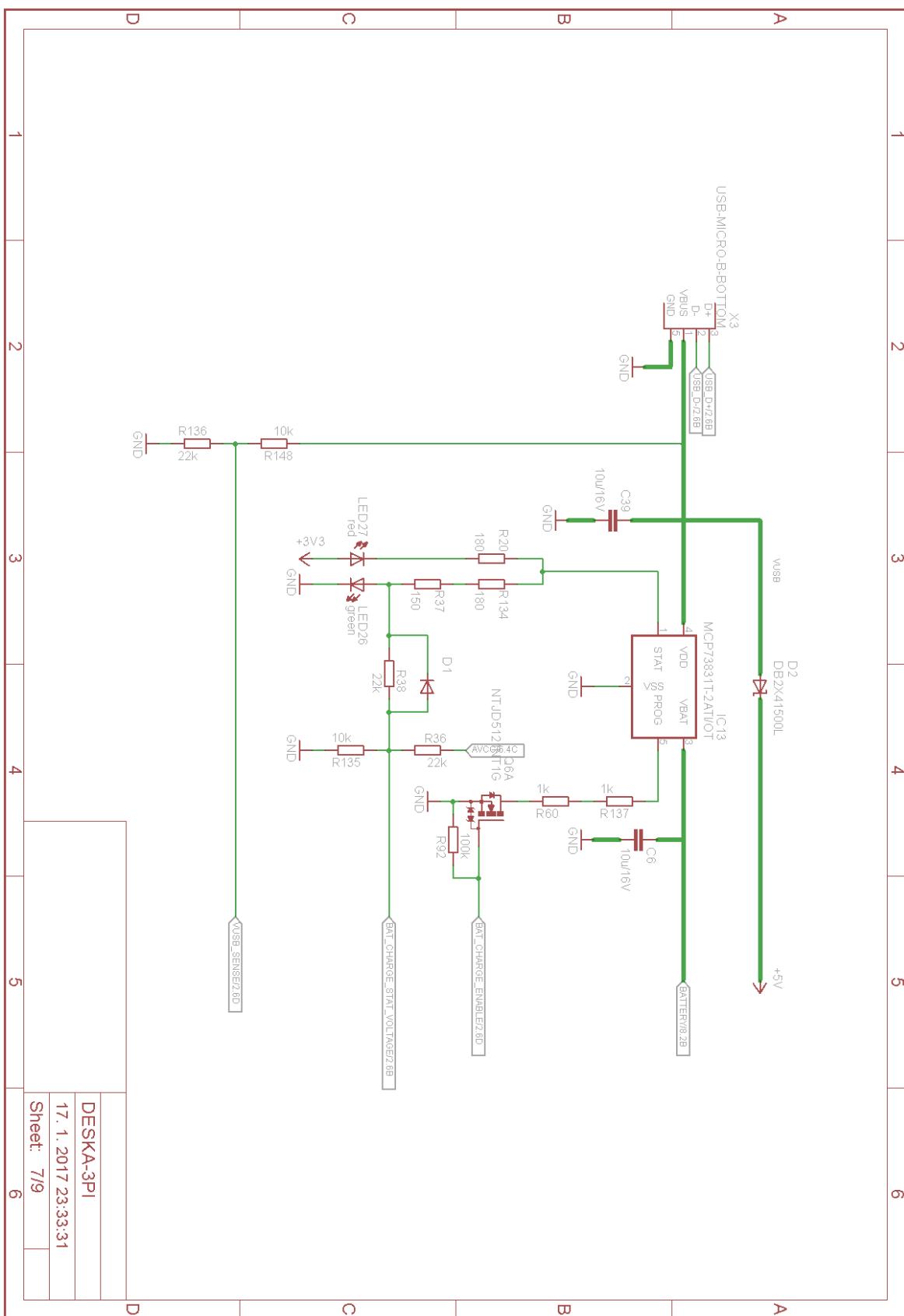
Obrázek 68: Schéma: MOTION_SENSORS (Pohybové senzory)



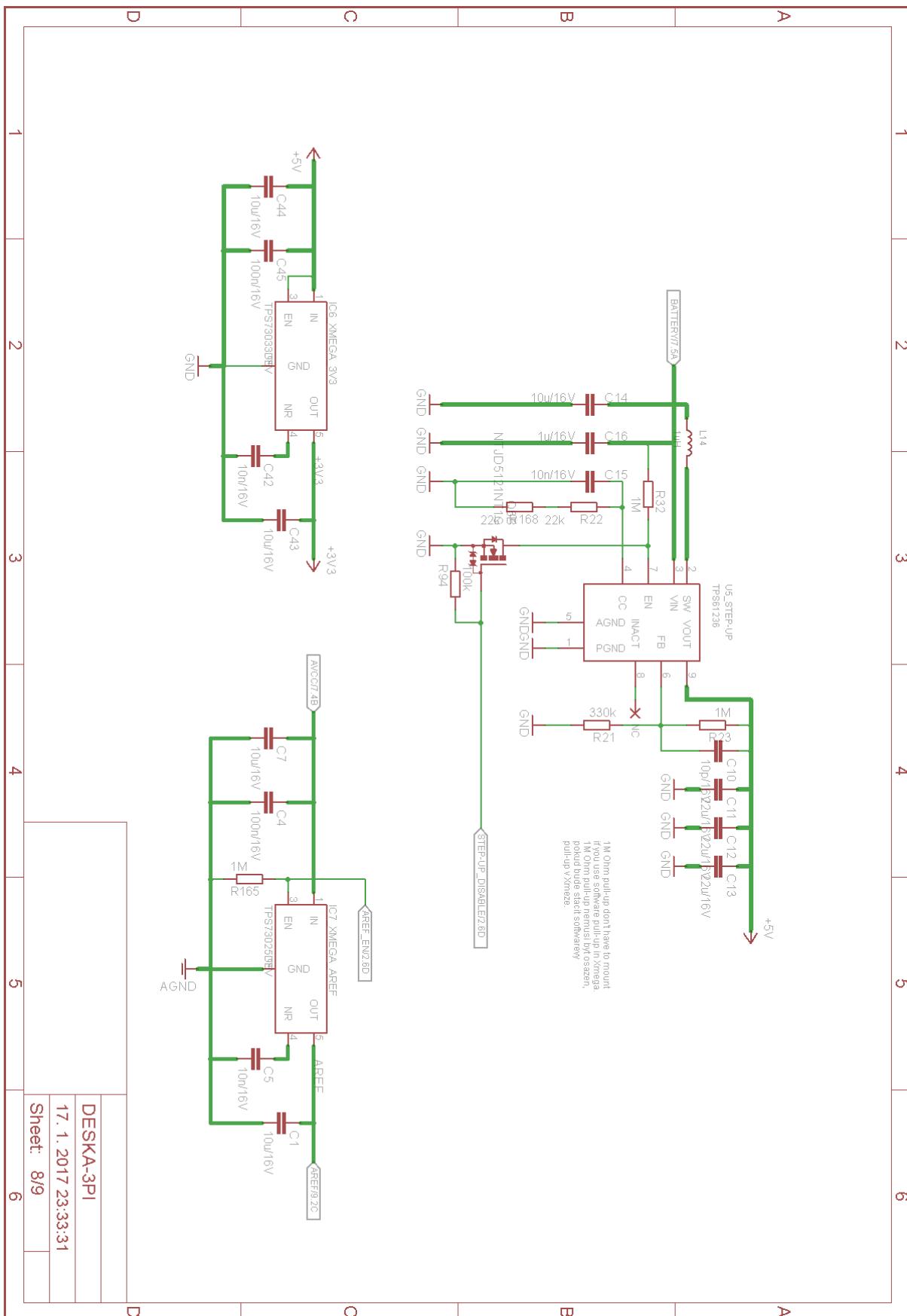
Obrázek 69: Schéma: COMMUNICATION (Komunikace)



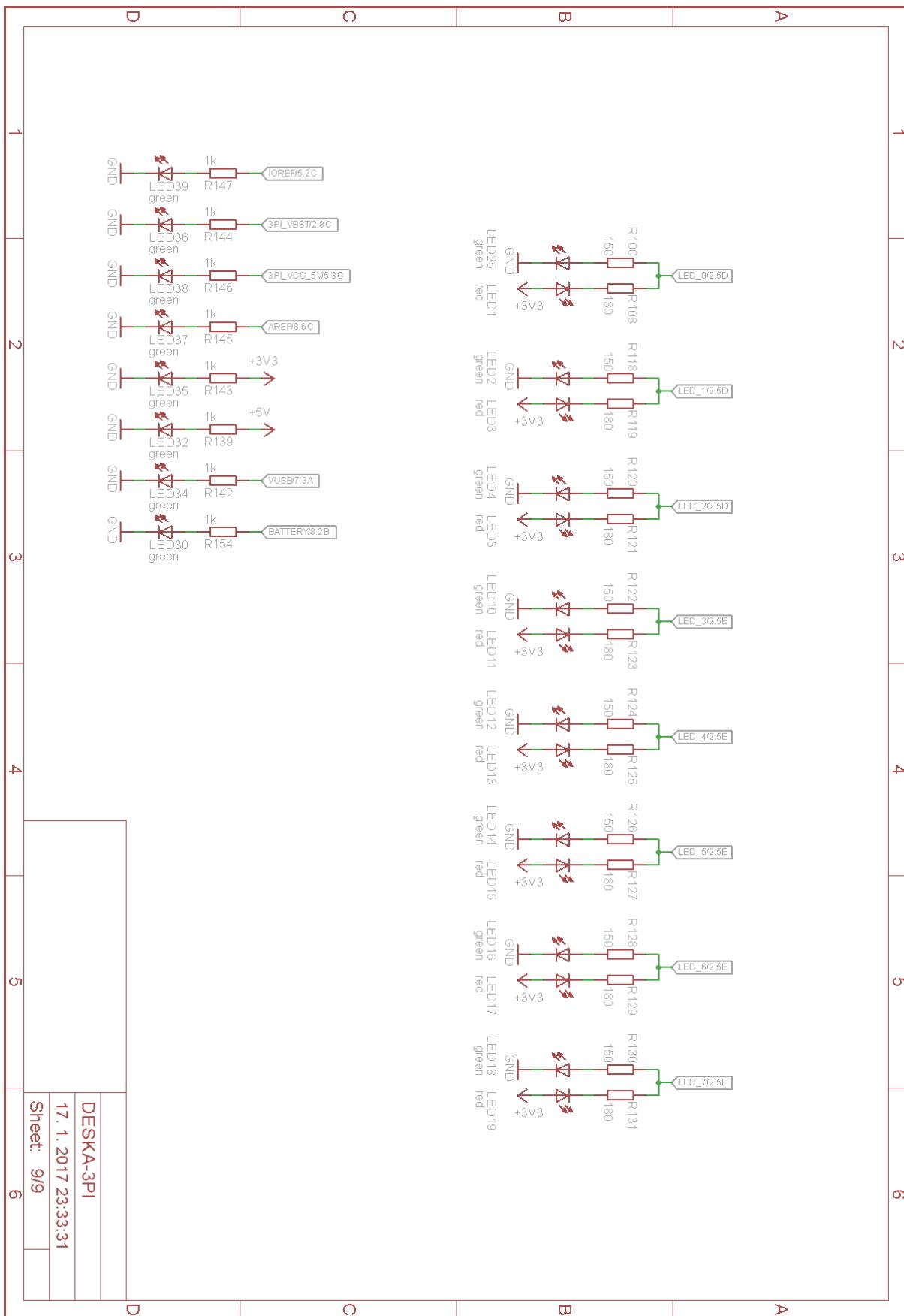
Obrázek 70: Schéma: POWER (Napájení)



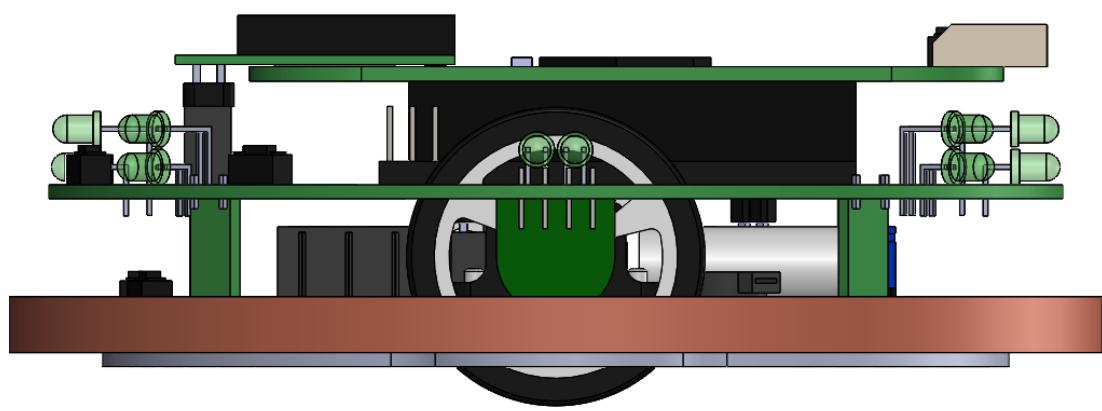
Obrázek 71: Schéma: CHARGING (Nabíjení)



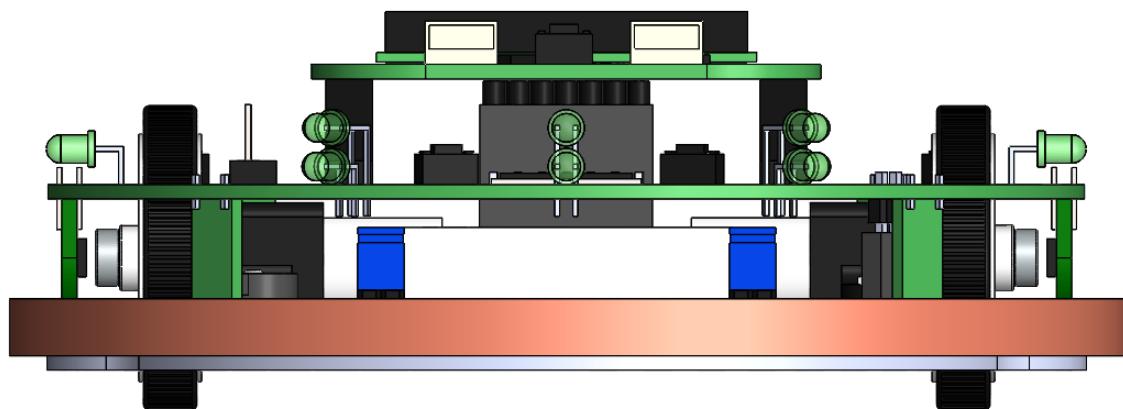
Obrázek 72: Schéma: REGULATORS (Stabilizátory)



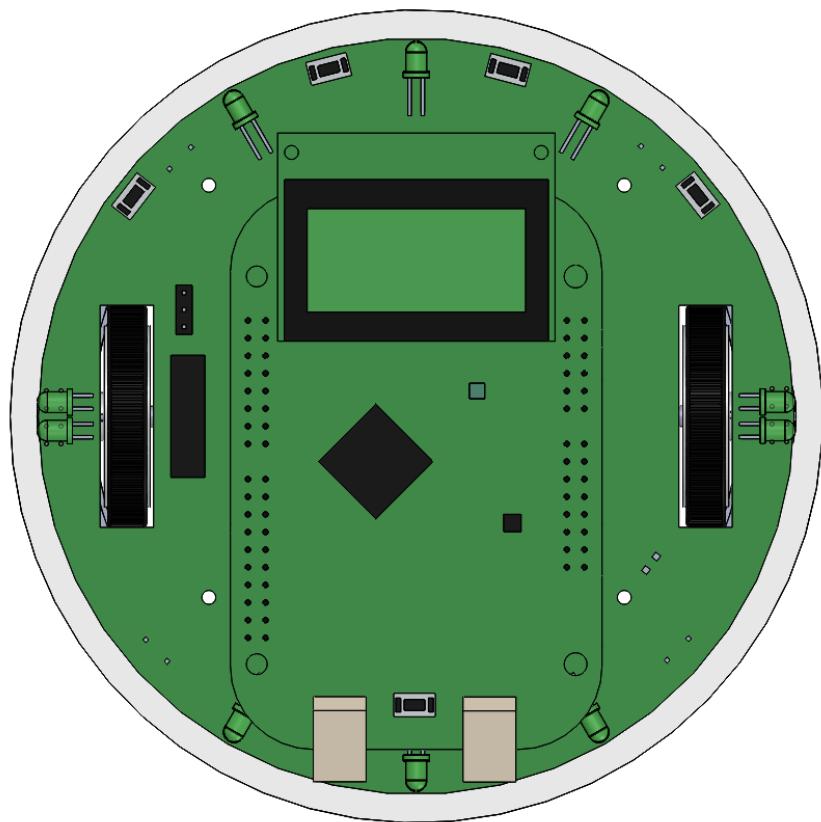
Obrázek 73: Schéma: LEDS (Signalizační LED)



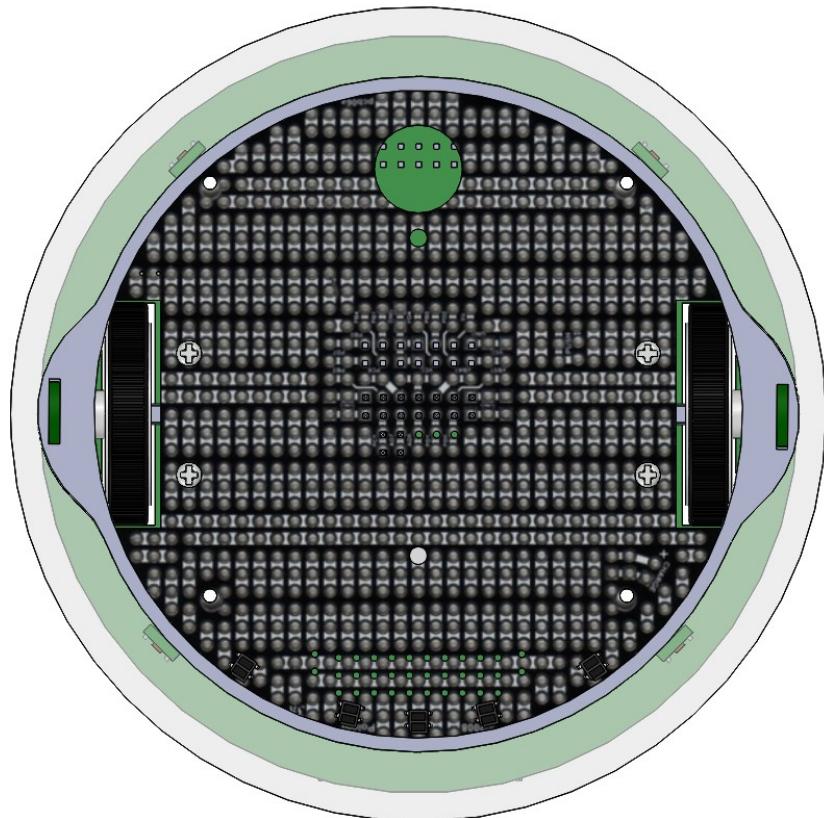
Obrázek 74: Pohled na robota s mým shieldem, z boku



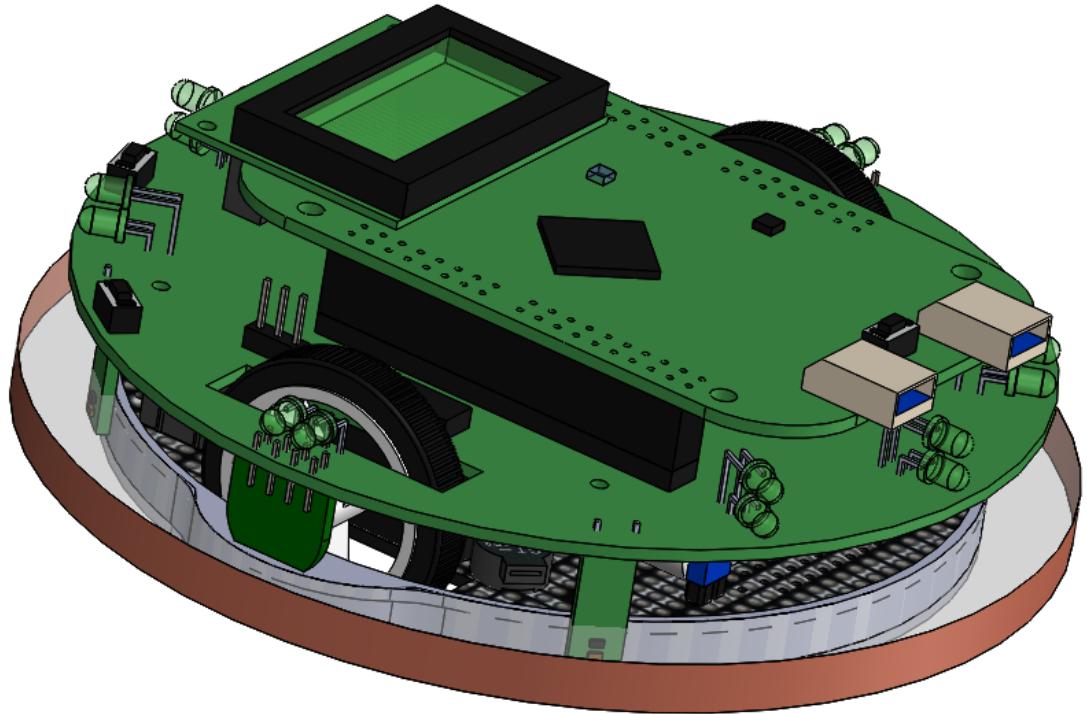
Obrázek 75: Pohled na robota s mým shieldem, zepředu



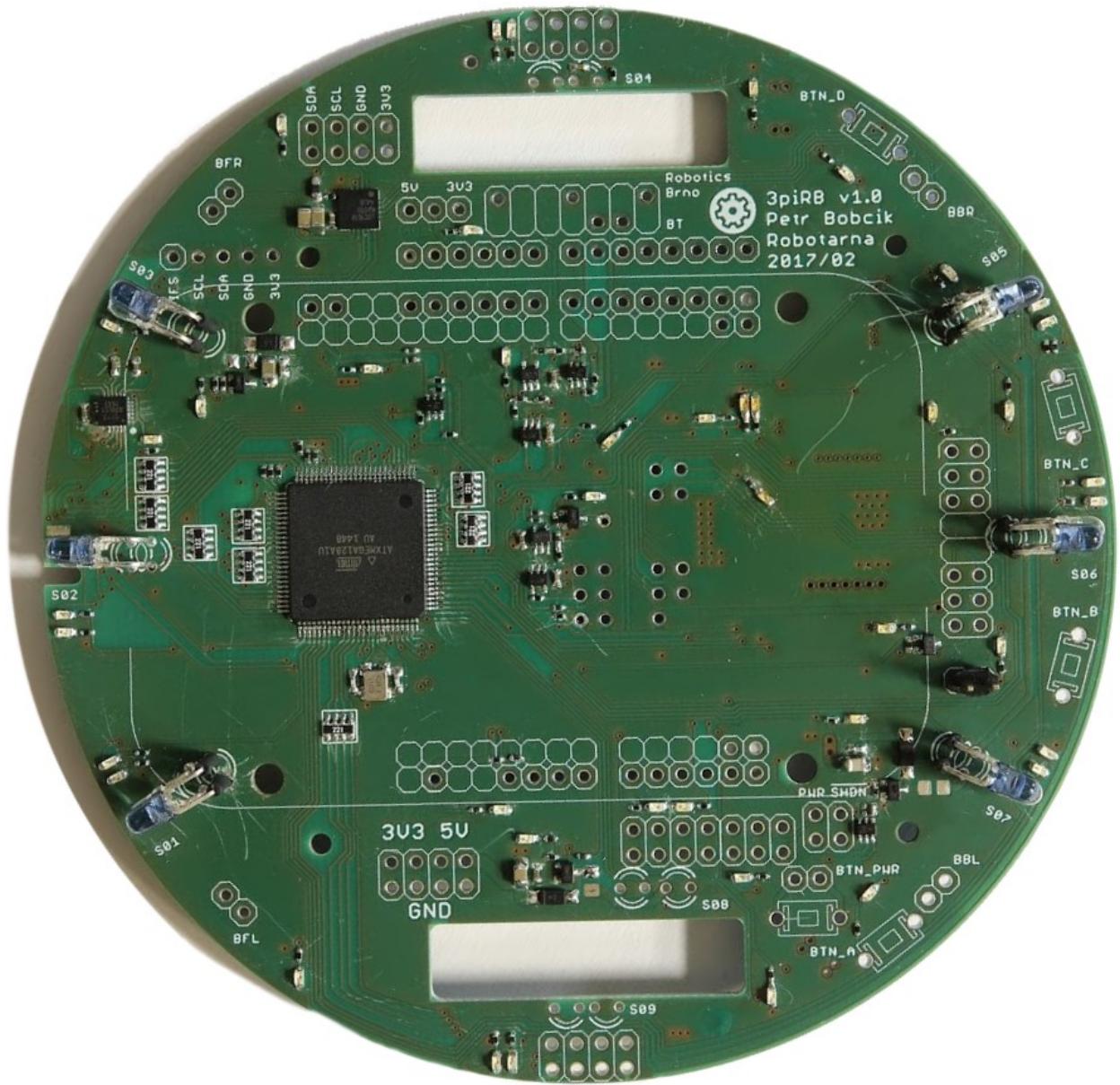
Obrázek 76: Pohled na robota s mým shieldem, ze shora



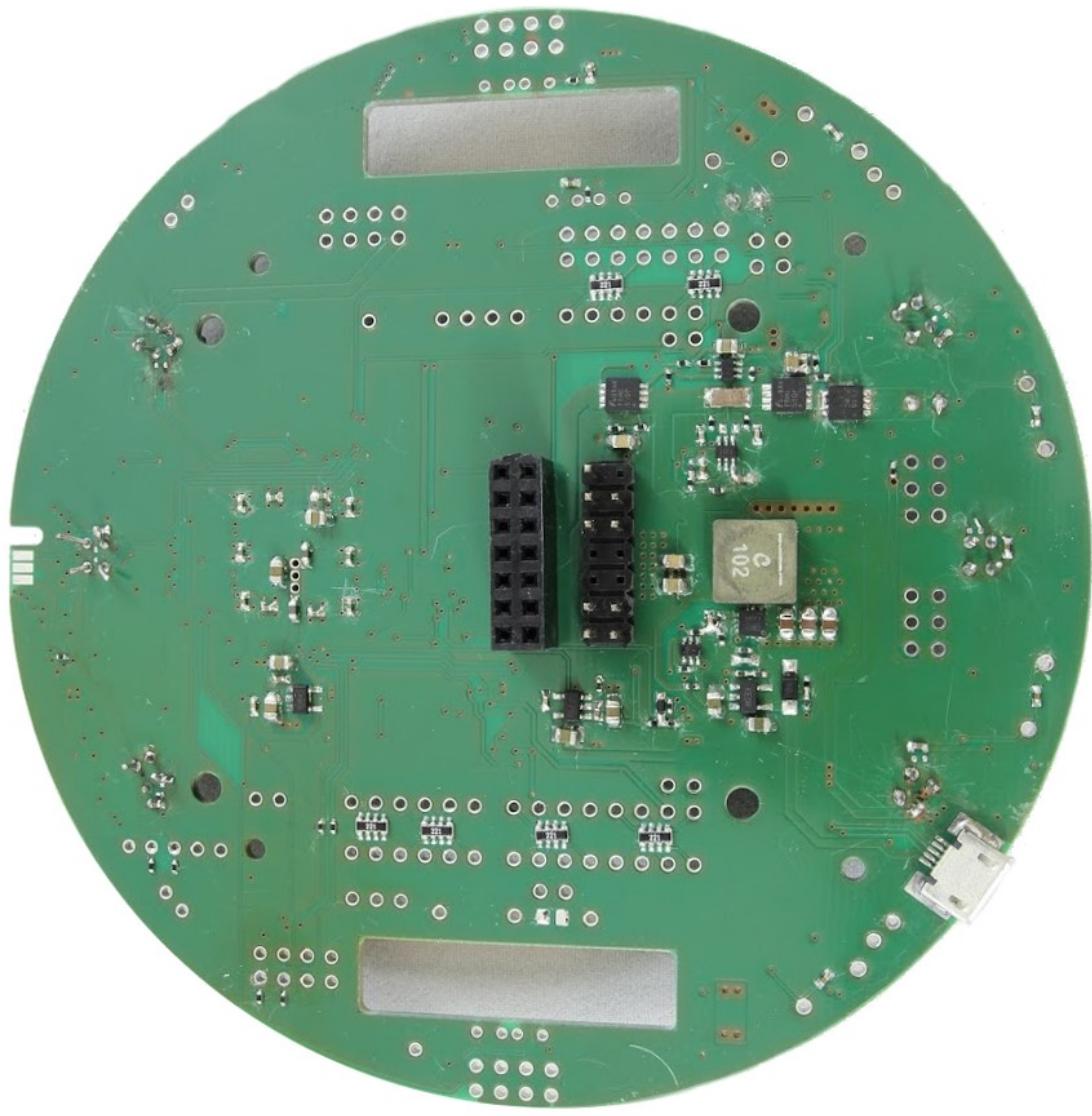
Obrázek 77: Pohled na robota s mým shieldem, zespod



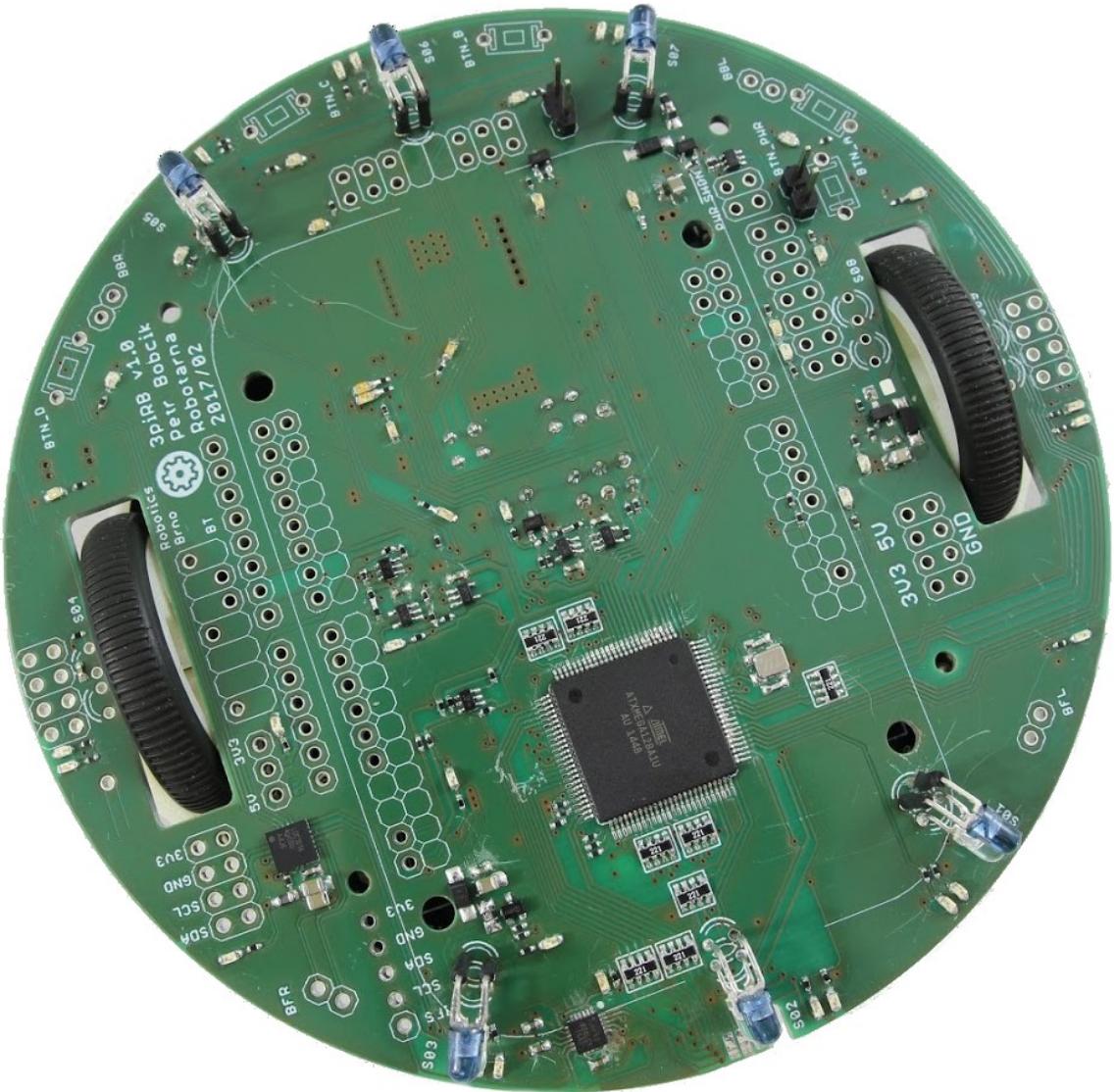
Obrázek 78: Celkový pohled na robota s mým shieldem



Obrázek 79: Pohled na shield ze shora



Obrázek 80: Pohled na shield ze spod



Obrázek 81:Pohled na shield, připojený k robotovi, ze shora