

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## SOUTĚŽNÍ ROBOT PRO SOUTĚŽ MINISUMO

MINISUMO COMPETITION ROBOT

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Stražil

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jakub Streit

BRNO 2021

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Vojtěch Stražil

**ID:** 211178

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2020/21

**NÁZEV TÉMATU:**

## Soutěžní robot pro soutěž Minisumo

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a postavte soutěžní robot pro kategorii Minisumo. Návrh musí obsahovat mechanickou konstrukci robotu, pohon, senzorické vybavení, řídicí jednotku včetně softwaru a napájení.

- 1) Navrhněte soutěžní robot na soutěž Minisumo
- 2) Návrh musí obsahovat pohonný systém, řídicí jednotku, senzorické vybavení a napájení
- 3) Po schválení návrh hardwaru realizujte a oživte
- 4) Navrhněte softwarové vybavení
- 5) Předved'te funkčnost

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6

Dle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 8.2.2021

**Termín odevzdání:** 24.5.2021

**Vedoucí práce:** Ing. Jakub Streit

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**  
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**

Práce je věnována návrhu soutěžního sumo robota pro kategorii Minisumo. Cílem této práce je vytvoření robota, který je schopen vytlačit svého protivníka ze soutěžního ringu. Práce se zabývá návrhem mechanické části robota, řídicí elektroniky a softwarového vybavení. Řízení robota je založeno na mikrokontroléru ATMEL ATxmega32A4U. Ten společně s H-můstky DRV8874 zajišťuje řízení dvojce DC motorů. Zpětnou vazbu pro správnou orientaci robota v prostoru zajišťují čtyři optické triangulační senzory a jeden reflexní optočlen. Software pro řízení robota je napsán v programovacím jazyce C.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Robot, minisumo, ATxmega32A4U, DRV8874, stejnosměrný motor, triangulační senzor, reflexní optočlen.

## **ABSTRACT**

The work is devoted to the design of a competitive sumo robot for the Minisumo category. The aim of the bachelor thesis is to create a robot that is able to push its opponent out of the competition ring. The work deals with the design of the mechanical part of the robot, control electronics and software. The robot control is based on microcontroller ATMEL ATxmega32A4U. This, together with the DRV8874 H-bridges, provides control of a pair of DC motors. Feedback, for the correct orientation of the robot in space, is provided by four optical triangulation sensors and a single reflective optocoupler. Robot control software is written in C programming language.

## **KEYWORDS**

Robot, minisumo, ATxmega32A4U, DRV8874, DC motor, optical triangulation sensor, reflective optocoupler.

VOJTĚCH, Stražil. *Soutěžní robot pro soutěž Minisumo*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 221, 66 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Jakub Streit

## Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení autora:** Stražil Vojtěch  
**VUT ID autora:** 211178  
**Typ práce:** Bakalářská práce  
**Akademický rok:** 2021/30  
**Téma závěrečné práce:** Soutěžní robot pro soutěž Minisumo

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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora\*

---

\*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jakubu Streitovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

# Obsah

Úvod	11
<b>1 Soutěž Sumo</b>	<b>12</b>
1.1 Obecná pravidla . . . . .	12
1.2 Pravidla pro Minisumo . . . . .	14
1.2.1 Průběh zápasu . . . . .	14
<b>2 Rozbor řešení</b>	<b>15</b>
2.1 Pohon . . . . .	15
2.1.1 Motory . . . . .	15
2.1.2 Konstrukce DC motorů . . . . .	16
2.1.3 Řízení DC motorů . . . . .	17
2.2 Akumulátor . . . . .	18
2.2.1 NiMH akumulátor . . . . .	19
2.2.2 Li-ion akumulátor . . . . .	19
2.2.3 Li-pol akumulátor . . . . .	19
2.2.4 Volba akumulátoru . . . . .	19
2.3 Senzorické vybavení . . . . .	20
2.3.1 Měření teploty motorů . . . . .	20
2.3.2 Detekce okraje ringu . . . . .	21
2.3.3 Detekce soupeře . . . . .	21
2.4 Řídicí elektronika . . . . .	23
2.4.1 A/D převodník . . . . .	23
2.4.2 Časovač/Čítač . . . . .	23
2.4.3 Sběrnice USART . . . . .	24
<b>3 Návrh mechanické části robota</b>	<b>25</b>
3.1 Tělo robota . . . . .	25
3.2 Pohon . . . . .	28
<b>4 Návrh elektronické části robota</b>	<b>29</b>
4.1 Mikrokontrolér . . . . .	29
4.2 Řízení motorů . . . . .	30
4.3 Senzorické vybavení . . . . .	32
4.4 Napájení . . . . .	35
4.4.1 Akumulátor . . . . .	35
4.4.2 Ochrana proti přepólování . . . . .	35
4.4.3 DC/DC regulátory . . . . .	36



4.5	Deska plošných spojů . . . . .	38
<b>5</b>	<b>Software</b>	<b>40</b>
5.1	Bootloader . . . . .	40
5.2	Aplikační část . . . . .	41
5.2.1	HID.c . . . . .	41
5.2.2	Motors.c . . . . .	42
5.2.3	Sensors.c . . . . .	42
5.2.4	Main.c . . . . .	43
	<b>Závěr</b>	<b>46</b>
	<b>Literatura</b>	<b>47</b>
	<b>Seznam symbolů a zkratk</b>	<b>50</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>52</b>
	<b>A Výkresová dokumentace tištěných dílů</b>	<b>53</b>
	<b>B Schema zapojení</b>	<b>59</b>
	<b>C DPS</b>	<b>63</b>
	C.1 Strana TOP . . . . .	63
	C.2 Strana BOTTOM . . . . .	63
	<b>D Osazovací výkres</b>	<b>64</b>
	D.1 Strana TOP . . . . .	64
	<b>E Seznam součástek</b>	<b>65</b>
	<b>F Obsah CD</b>	<b>66</b>

# Seznam obrázků

1.1	Dva zápasníci kategorie Minisumo . . . . .	13
2.1	Průřez stejnosměrného motoru . . . . .	16
2.2	Ukázka PWM signálu . . . . .	17
2.3	Zjednodušené schema zapojení H-můstku . . . . .	18
2.4	Graf závislosti odporu na teplotě u termistorů . . . . .	21
2.5	Zjednodušené schema ToF senzoru . . . . .	22
2.6	Princip triangulačního senzoru . . . . .	23
2.7	Rámec UART . . . . .	24
3.1	3D návrh robota 1 . . . . .	26
3.2	3D návrh robota 2 . . . . .	26
3.3	Reálný robot 1 . . . . .	27
3.4	Reálný robot 2 . . . . .	27
3.5	Pohon Minisumo robota . . . . .	28
4.1	Blokové schéma zapojení periférií . . . . .	29
4.2	Konektor s PDI, UART, USB . . . . .	30
4.3	Schema zapojení H-můstku . . . . .	32
4.4	Sensor SHARP GP2Y0A21YK0F . . . . .	33
4.5	Napěťový dělič . . . . .	34
4.6	Schema zapojení NTC termistorů . . . . .	34
4.7	Blokové schéma zapojení napájení . . . . .	35
4.8	Schema zapojení ochrany proti přepólování . . . . .	36
4.9	Schema zapojení step-down měniče . . . . .	37
4.10	Schema zapojení lineárního regulátoru . . . . .	37
4.11	3D Návrh DPS . . . . .	38
4.12	Detail prokovů . . . . .	39
5.1	Vývojový diagram hlavní části programu . . . . .	43
5.2	Vývojový diagram první a druhé strategie . . . . .	44
5.3	Vývojový diagram třetí a čtvrté strategie . . . . .	45
C.1	Předloha pro DPS - strana TOP . . . . .	63
C.2	Předloha pro DPS - strana BOTTOM . . . . .	63
D.1	Osazovací výkres - strana TOP . . . . .	64
E.1	Seznam součástek . . . . .	65

# Seznam tabulek

1.1	Přehled kategorií . . . . .	12
4.1	Pravdivostní tabulka obvodu DRV8874 . . . . .	31
5.1	HID.c . . . . .	41
5.2	Motors.c . . . . .	42
5.3	Sensors.c . . . . .	42

# Úvod

Už několik let tvoří robotika běžnou součástí života. Na robotiku lze narazit nejen ve velkých průmyslových aplikacích, ale i v běžné domácnosti, kdy roboti zastávají mnoho manuálních činností, jako je například praní prádla nebo vysávání.

Tato práce se věnuje oblasti mobilních robotů, jež v posledních letech zažívá obrovský růst vlivem vývoje autonomních vozidel. Vývoj takového vozidla zabere mnoho úsilí, jelikož je zde zapotřebí řešit nespočet systémů jako je například natáčení kol nebo správná akcelerace vozidla. Práce je zaměřena na vývoj robotického zápasníka sumo, který se také řadí mezi mobilní roboty, je autonomní a k řízení využívá množství senzorů pro zajištění zpětné vazby a správný chod systému. Je to tedy dobrý úvod do oblasti mobilní robotiky.

Se sumo roboty je možno soupeřit na soutěžích po celém světě v několika kategoriích. Existuje několik komerčně dostupných řešení těchto zápasníků, jejich parametry ale nejsou nejlepší, proto si většina závodníků staví roboty od úplného základu.

Tato práce se zaměřuje na vývoj robota patřícího do kategorie Minisumo, která by měla zajistit dobrý náhled do této problematiky. Konstrukce minisumo robotů není tolik složitá, jako mechanická část v jiných kategoriích, pokud nebude brána v úvahu kategorie Legosumo, kde soutěžící závodí s roboty postavenými ze stavebnic LEGO. Práce se tedy nebude zabývat pouze návrhem řídicí jednotky, ale i softwarem a mechanickým návrhem robota, neboť vhodně zvolená strategie a dobrá konstrukce robota hraje při zápasech nemalou roli.

V následujících kapitolách budou předloženy možnosti řešení takových robotů. Nejdříve bude rozebrán mechanický návrh, který bude obsahovat především řešení pohonu a rozmístění jednotlivých snímačů a ostatních komponent. Poté bude v práci popsán návrh řídicí elektroniky a v poslední části se práce bude věnovat softwarovému vybavení robota, včetně ukázek několika strategií.

# 1 Soutěž Sumo

Zápasy robotických sumo se inspiřují skutečnými zápasy tohoto japonského sportu. Robotičtí zápasníci, podobně jako v tradičním zápasu sumo, mají za úkol navzájem se vytlačovat z ringu. Roboti musí být plně autonomní a během zápasu s nimi může komunikovat pouze rozhodčí prostřednictvím dálkového tlačítka stop. Aby byly jednotlivé zápasy vyrovnané, dělí se tato soutěž na několik kategorií, ve kterých je dána velikost ringu a jsou v nich pevně stanoveny podmínky, jež musí roboti splňovat. Přehled jednotlivých disciplín a jejich omezení je uveden v tabulce 1.1.

Tab. 1.1: Přehled kategorií soutěže Sumo. Dostupné z [1]

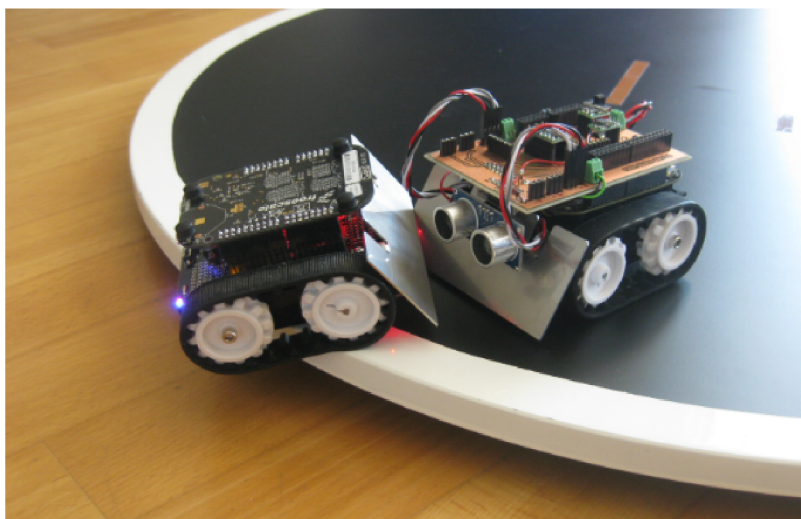
Kategorie	Průměr ringu [cm]	Max. rozměry (V×Š×D) [mm]	Max. hmotnost [g]
Legosumo	77	$\infty \times 150 \times 150$	1000
Humanoidsumo	154	$500 \times 200 \times 200$	3000
Megasumo	154	$\infty \times 200 \times 200$	3000
Minisumo	77	$\infty \times 100 \times 100$	500
Microsumo	38,5	$50 \times 50 \times 50$	100
Nanosumo	19,25	$25 \times 25 \times 25$	25

Jelikož se z robotického zápasení během několika let stal celosvětový fenomén, lze se s těmito robotickými zápasníky zúčastnit mnoha soutěží v ČR i ve světě. V zahraničí je velmi populární soutěž RobotChallenge, která se v minulosti konala ve Vídni a od roku 2017 se konání této soutěže přesunulo do Pekingu. V České republice lze s roboty zápasit na soutěžích jako je Jedobot v Jedovnici, Roboj v Jeseníku, RoboTrip v Uničově nebo Robotický den v Praze.

## 1.1 Obecná pravidla

Jak je uvedeno výše, roboti se musí navzájem vytlačit z kruhového ringu. Je zakázáno používat pily, plamenomety a podobná zařízení, která by mohla poškodit protivníka. Prohrává robot, který se jako první dotkne prostoru mimo ring. To platí pro jakoukoliv část zápasníka a platí to i pro části, které během zápasu z robota odpadnou.

Každý robot se musí před samotnou soutěží podrobit tzv. technické přejímce. Ta spočívá v tom, že rozhodčí zkontroluje, zda robotický zápasník sumo odpovídá všem požadavkům dané kategorie. Rozhodčí tedy robota zvaží a zkontroluje, zda robot nepřesahuje maximální velikost. U kategorií jako je Legosumo se pak kontroluje i to,



Obr. 1.1: Dva zápasníci kategorie Minisumo. Dostupné z [20]

zda všechny díly, které jsou na robotu použity, opravdu odpovídají stavebnici Lego a zda nejsou nějakým způsobem upraveny. Toto neplatí pro provázky a hadičky, které se mohou zkracovat na požadovanou délku. Na technické přejímce robot většinou dostává i startovní číslo.

Podle množství robotů v dané kategorii jsou vytvořeny skupiny. V ČR, jelikož zde není tolik účastníků, většinou bojují všichni roboti proti všem. Zápas vyhrává ten zápasník, který jako první vyhraje dva souboje. Když například robot A vyhraje první souboj a druhý souboj vyhraje robot B, je uskutečněn třetí souboj, pokud robot A vytlačí robota B z ringu, celý zápas vyhrává robot A a je mu připsán bod. Robot s největším počtem bodů vyhrává celou soutěž.

Pokud je v dané kategorii více robotů, z časového hlediska není možné, aby všichni roboti zápasili proti všem. Proto je vytvořeno více skupin, kde se uplatňuje stejný postup jako je popsán výše, roboti se tedy utkají všichni proti všem, ale pouze ve své skupině. Poté většinou čtyři nejlepší roboti postupují do vyřazovací části soutěže, kde se uplatňují standardní pravidla play-off. Roboti jsou proti sobě postaveni tak, že například robot, který měl nejvíce bodů ve své skupině, je nasazen proti robotovi z druhé skupiny, jenž postoupil do vyřazovací části s nejméně body. Zápasník, který zápas prohraje, vypadává z celé soutěže. V druhém kole se vítěz utká s vítězem z druhého zápasu a opět, robot, který prohraje, vypadává z celé soutěže. Takto se určí pořadí jednotlivých zápasníků v soutěži.

## 1.2 Pravidla pro Minisumo

V kategorii Minisumo činí průměr ringu cca 77 cm a jeho tloušťka je většinou několik centimetrů. Hrací plocha má černou barvu a okraj je vyznačen několikacentimetrovým bílým pruhem.

Šířka či délka robota nesmí při startu překročit 100 mm. Po startu se mohou zápasníci rozměry změnit dle libosti. Robot nesmí překročit maximální hmotnost, která činí 500 g.

### 1.2.1 Průběh zápasu

Rozhodčí většinou nejprve rozdělí ring na 4 kvadranty. Poté se losem vybere soutěžící, který jako první umístí zápasníka do jednoho z kvadrantů ringu. Následně je do protilehlého kvadrantu umístěn druhý zápasník. Poté rozhodčí odstartuje zápas. V zahraničí rozhodčí startuje roboty pomocí dálkového ovládání, roboti tedy začnou zápasit po vyslání signálu a jsou vypnuti opět dálkovým ovládáním. V ČR se roboti startují pomocí obyčejného tlačítka, které je umístěno na robotovi. Rozhodčí tedy dá pokyn soutěžícím, kteří současně odstartují své roboty. Zápasník se po dobu 5 s nesmí nijak hýbat, aby soutěžící stihli vyklidit prostor kolem ringu. Pokud by se zápasník během úvodních 5 s pohnul, došlo by k diskvalifikaci robota. Během této doby může soutěžící zápas pozastavit a start se v tomto případě opakuje. Když zápas skončí, soutěžící si zápasníka vypínají opět pomocí tlačítka.

## 2 Rozbor řešení

Jelikož se tato práce zabývá návrhem robota jako celku, jedná se o celkem komplexní úlohu. Kromě návrhu desky plošných spojů se tato práce musí věnovat i návrhu konstrukce robota, který zaručí dobrý přenos sil při vytlačování soupeře.

### 2.1 Pohon

Pohon je jedna z nejdůležitějších součástí zápasníka. Motory musí mít dostatečně malé rozměry a nízkou hmotnost, aby zápasník dodržel předepsané limity. Zároveň musí mít vhodné motory velký točivý moment, dostatečně velkou rychlost otáčení a být jednoduché na řízení.

#### 2.1.1 Motory

Výběr motorů, které mají dostatečně malé rozměry pro aplikaci v robotickém zápasníku pro kategorii Minisumo, je značně omezen, jelikož je většina typů konstruována pro mnohem větší aplikace.

##### **Krokové motory**

Pohyb krokových motorů je při nízkých rychlostech nespojitý. To je způsobeno tím, že se rotor (otáčivá část motoru) pohybuje mezi stabilními polohami, které jsou nazývány kroky. Tyto motory mají velmi velký točivý moment, přesné polohování a jsou téměř bezúdržbové, jejich nevýhodou je malá rychlost otáčení. [2]

##### **Bezkartáčové DC motory**

Bezkartáčové DC motory, označované také jako BLDC motory, jsou dnes velmi populární a v průmyslových odvětvích často nahrazují klasické kartáčové DC motory. Jejich nesporná výhoda je, že pro komutaci nepoužívají kartáče, což zaručuje delší životnost. BLDC motory jsou vhodné pro použití tam, kde je kladen důraz na malé rozměry a nízkou hmotnost. [3]

##### **Kartáčové DC motory**

DC motory jsou velmi dostupné motory, které jsou levné, jednoduché na řízení a mají velký rozsah otáček. Jejich konstrukce je také velmi jednoduchá a jsou často využívány ve spotřební elektronice.

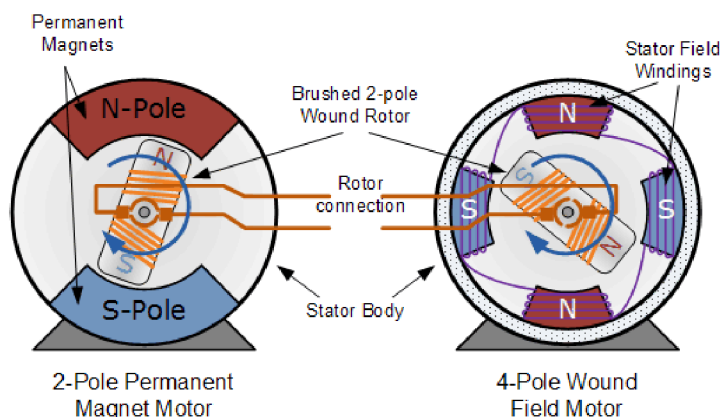


## Volba motorů

I když krokové motory nabízí velmi velký točivý moment, pro účely pohonu robota nemají dostatečnou rychlost otáčení. BLCD motory se jeví jako velmi dobrá varianta, bohužel malé BLCD motory jsou pro tyto účely příliš drahé a relativně náročné na řízení. Pro tuto práci byly vybrány kartáčové DC motory, které jsou jednoduché na řízení a nemusí mít vysokou životnost. Po zpřevodování nabídnou dobrý poměr mezi cenou, rychlostí a točivým momentem.

### 2.1.2 Konstrukce DC motorů

Stator (pevná část motoru) je tvořen vinutím vytvářející magnetické pole, nebo permanentními magnety, které jsou rozmístěny tak, aby měly se svými sousedními magnety opačnou polaritu. V motoru se dále nachází tzv. komutátor, který má za úkol vybuzovat cívky na rotoru. Rotorová část, která se v některé literatuře označuje jako kotva, je tvořena hřídelem, na kterém jsou upevněny jednotlivé cívky vinutí, jež jsou připojeny ke komutátoru.



Obr. 2.1: Průřez stejnosměrného motoru. Dostupné z [19]

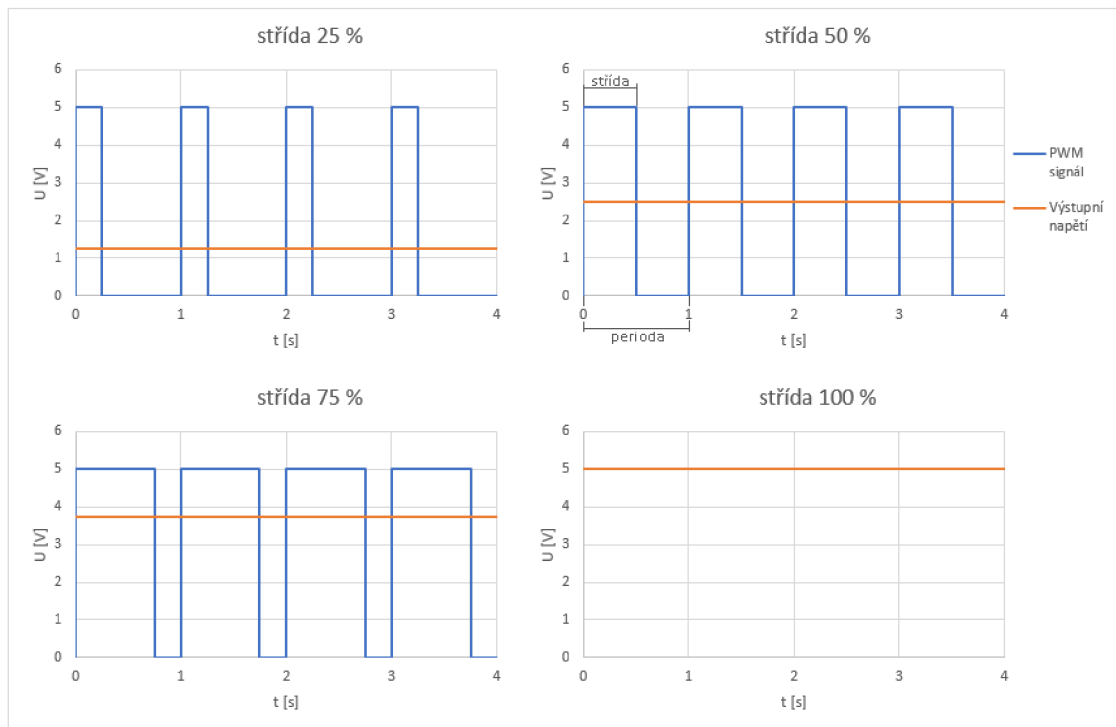
### Princip činnosti

Pokud začne procházet vinutím cívek rotoru elektrický proud, začne se generovat magnetický tok kolem cívek. Jelikož se toto pole snaží dostat do rovnováhy se stacionárním magnetickým polem permanentních magnetů, protože se opačné póly přitahují a stejné odpuzují, dojde k roztočení rotoru společně s cívkami, tzn. vzniká točivý moment síly  $M$ . Kvůli komutátoru se tyto magnetické síly nikdy nevyrovnejí, tudíž se rotor bude mít snahu točit do doby, dokud bude vinutím protékat proud. [4]

### 2.1.3 Řízení DC motorů

Řízení stejnosměrných motorů je relativně jednoduché. Pro reverzaci směru otáčení motoru stačí pouze změnit polaritu napětí na svorkách motoru. Otáčky motoru jsou přímo úměrné napájecímu napětí. Z toho plyne, že regulaci otáček motoru lze provádět pouze změnou střední hodnoty napětí. Jelikož by proud motorem při velké zátěži a například polovičním napětí oproti jmenovitému napětí byl příliš vysoký, což by vedlo k vyšším nárokům na řídicí elektroniku, používá se pro řízení tzv. pulzně šířková modulace (později jen PWM).[5]

Jedná se o diskrétní modulaci signálu, což znamená, že daný signál může nabývat pouze hodnot logické 1 nebo 0. Tento signál je vzorkován vysokou frekvencí a hodnotu výsledného signálu (střední hodnotu napětí) udává poměr mezi stavy vypnuto a zapnuto. Tento poměr je nazýván jako střída. Pokud se převrátí hodnota frekvence, je získána perioda. Tato perioda udává délku jedno cyklu PWM signálu. [6]

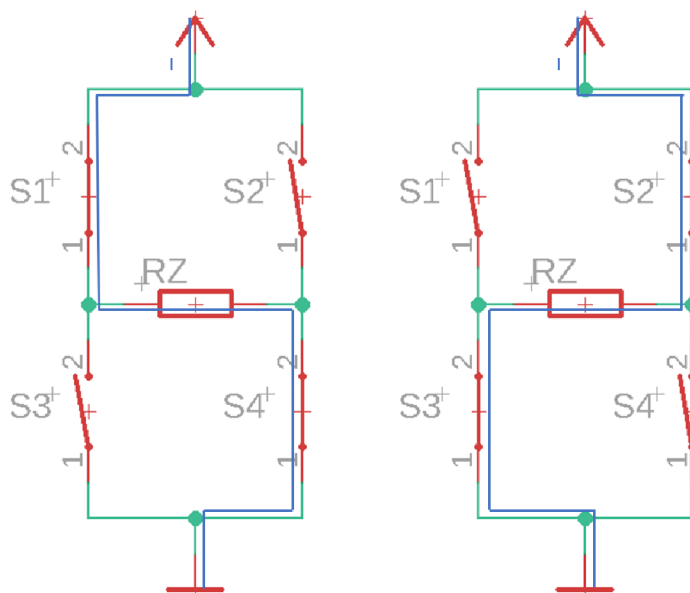


Obr. 2.2: Ukázka PWM signálu

## H-můstek

Samotné řízení motoru je realizováno pomocí tzv. H-můstku (též tranzistorový pulzní měnič). Ten je tvořen čtveřicí spínacích prvků, které jsou uspořádány tak, že připomínají písmeno H, odtud tedy název H-můstek. Spínací prvky jsou ve vysokonapětových aplikacích tvořeny IGBT tranzistory, které jsou vhodné pro spínání velkých proudů, jelikož v otevřeném stavu mají minimální odpor.

V této práci jsou využívány H-můstky s označením DRV8874, které pro spínání obsahují N-kanálové mosfety. Princip činnosti samotného H-můstku je znázorněn na obrázku č. 2.3. Pro zjednodušení jsou tranzistory v tomto obrázku znázorněny jen pomocí spínačů. Motor je nahrazen pouze rezistorem  $R_z$  a průchod proudu je vyznačen modrou barvou. Lze tedy vidět, že je možno řídit směr otáčení motoru. Rychlým spínáním tranzistorů může být ovlivňována střední hodnota napětí, což reguluje otáčky motoru.



Obr. 2.3: Zjednodušené schema zapojení H-můstku

## 2.2 Akumulátor

Mezi velmi důležité prvky robotického zásobníka se bezesporu řadí i výběr vhodného zdroje energie. Jelikož jde o mobilní zařízení, není možné robota napájet stálým zdrojem (např. pomocí laboratorního zdroje). Ten lze využívat pouze při testování některých funkcí zásobníka. Primární články (např. klasické AA baterie) pro toto použití také nejsou příliš vhodné, jelikož nemohou být použity opakovaně a jejich

spotřeba by byla vysoká. Navíc by tento zdroj energie nebyl schopný dodat požadovaný proud a jeho kapacita by byla nedostatečná, proto je nejvýhodnějším řešením použití jednoho z typů sekundárního článku (akumulátoru).

Požadavky na akumulátor pro použití v disciplínách sumo jsou relativně velké. Akumulátor by měl být schopný dodat potřebné množství proudu, zároveň by neměl být příliš velký a těžký.

### **2.2.1 NiMH akumulátor**

NiMH akumulátory jsou často využívány jako náhrada primárních článků, jelikož nominální hodnota napětí činí 1,2 V. Tyto články jsou citlivé na teplotu, při zahřátí se rapidně snižuje jejich kapacita. Jejich výhodou je bezpečnost při jejich používání, jelikož zde neexistuje riziko výbuchu při poškození ochranné vrstvy. [7]

### **2.2.2 Li-ion akumulátor**

Ve spotřební elektronice se často využívají Li-ion články, jejich nominální hodnota napětí činí 3,6 V. Tyto články mají velmi velkou hustotu energie, tudíž jsou malé a mají velkou kapacitu, netrpí ani paměťovým efektem a samovybíjením. [8]

### **2.2.3 Li-pol akumulátor**

Lepším typem, který v největší míře splňuje nároky pro použití v této práci, je Li-pol článek. Tento článek vychází z konstrukce Li-ion článků. Kromě velké hustoty uložené energie a malých rozměrů je tento článek i lehký. Nevýhodou je vyšší cena a možnost výbuchu v případě poškození ochranného obalu, ke kterému může dojít relativně snadno při hrubém zacházení. [8]

### **2.2.4 Volba akumulátoru**

Nominální hodnota napětí vybraných motorů činí 12 V, proto musí být články (z uvedených typů akumulátoru) zapojeny sériově. Jelikož mají NiMH nejmenší hustotu energie, jejich aplikace by byla příliš objemná. Použití Li-pol článků je pro tuto aplikaci výhodnější než použití Li-ion článků, neboť mají podobné vlastnosti, ale jejich hmotnost je výrazně nižší. Pro tuto práci byl tedy vybrán 3-článekový Li-pol akumulátor, jehož nominální hodnota napětí je 11,1 V.

## 2.3 Senzorické vybavení

Senzorické vybavení robota není důležité jen pro správnou orientaci robotického zápasníka v prostoru, ale využívá se také pro kontrolu některých důležitých systémů. Lze tak zabránit mnoha poruchám, jako je například přehřátí motoru.

### 2.3.1 Měření teploty motorů

Měření teploty motorů je u sumo zápasníků důležité, jelikož při souboji dvou robotů může snadno dojít k prudkému nárůstu proudu tekoucího motorem (zvýšení teploty), který by v krajním případě mohl vést k destrukci celého motoru. Pro měření teploty jsou často používány termistory a to, díky jejich malé velikosti a také nízké ceně.

Termistory se dělí na dva typy a jejich odpor je silně závislý na teplotě. Jejich charakteristika je nelineární a jde přibližně určit ze vztahu (platí pro NTC):

$$R = A \cdot e^{B/T} [9] \quad (2.1)$$

$R$ ...odpor termistoru [ $\Omega$ ]

$A$ ...konstanta závislá na tvaru a materiálu senzoru [ $\Omega$ ]

$B$ ...teplotní konstanta [K]

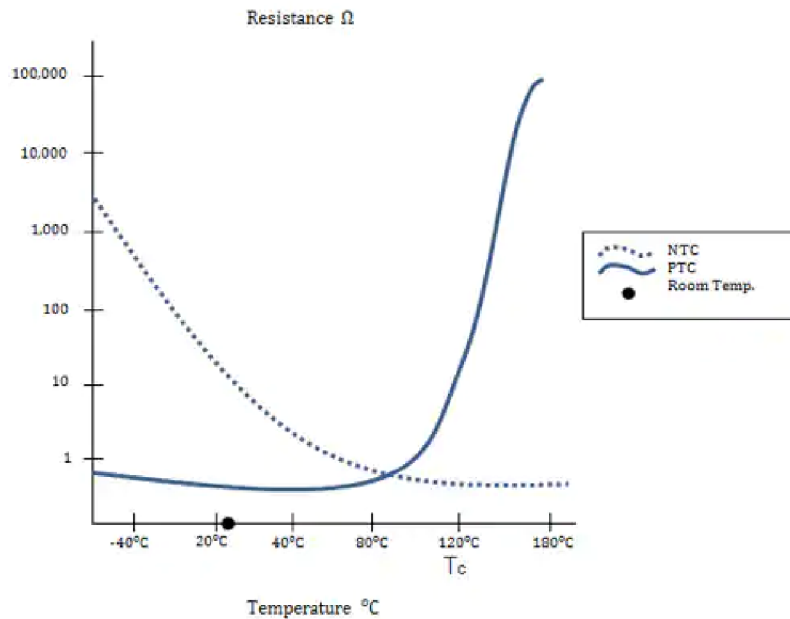
$T$ ...teplota [K]

#### PTC

U PTC termistorů s rostoucí teplotou velmi strmě roste i jejich odpor. Závislost odporu na teplotě je silně nelineární. [9] Používají se například jako teplotní ochrana u velkých elektromotorů, kdy při zahřátí vinutí vzroste jejich odpor na velmi vysokou hodnotu a prakticky přeruší daný obvod. Tyto termistory jsou umístěny uvnitř motoru, proto se tato ochrana u malých elektromotorů nepoužívá.

#### NTC

NTC termistory jsou používanějším typem termistoru. S rostoucí teplotou jejich elektrický odpor klesá. Používá se pro měření teploty, kde nejsou vysoké nároky na přesnost, jelikož se jejich přesnost pohybuje v řádu stupňů. Jejich výhodou je relativně velký rozsah měření, který ne zřídka přesahuje 200 °C. [9]



Obr. 2.4: Graf závislosti odporu na teplotě u termistorů. Dostupné z [21]

### 2.3.2 Detekce okraje ringu

Robot by neměl vyjet z ringu vlastním přičiněním, protože by v takovém případě soubor prohrál. Musí tedy být opatřen senzorem, který okraj ringu bezpečně rozezná. Hrací plocha je ohraničena několikacentimetrovým bílým pruhem, proto je vhodné okraj snímat tzv. reflexivním optočlenem.

#### Reflexní optočlen

Optočleny jsou tvořeny infračervenou (IR) diodou a fotocitlivou polovodičovou součástí (např. fototranzistor) v jednom pouzdru. IR dioda vysílá infračervené záření, které následně otevírá fototranzistor. Optočleny se vyrábí v několika provedení a využívají se například pro galvanické oddělení obvodů, jako optické závory, nebo právě pro detekci barev, neboť každá barva pohlcuje záření generované pomocí IR diody odlišně. Vzdálenost senzoru od odrazné plochy ale musí být konstantní. Zároveň je tento senzor velice náchylný na okolní záření.

### 2.3.3 Detekce soupeře

Neméně důležitým prvkem každého sumo zápasníka je správná detekce soupeře. Pokud by robot nedokázal určit polohu svého protivníka v ringu, jezdil by velmi nahodile a vytlačení druhého robota z ringu by bylo čistě náhodné. Pro detekci

oponenta lze využít senzorů pro měření vzdálenosti. Tyto snímače fungují na mnoha principech, často se používají ultrazvukové nebo infračervené senzory.

### Ultrazvukový senzor

Ultrazvukové snímače fungují na principu ToF (Time-of-Flight), kdy ultrazvukový měnič (nejčastěji piezoelektrický generátor) vyšle ultrazvukový signál, poté se přepne do přijímacího módu a odražený signál od překážky snímá. Existují i typy senzorů, které mají jeden oddělený snímač a jeden oddělený vysílač. [10] Vzdálenost lze pak vypočítat pomocí vztahu:

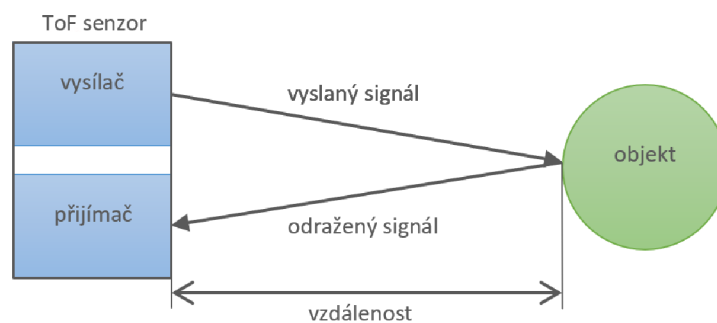
$$d = \frac{v \cdot t}{2} \quad (2.2)$$

$d$ ...vzdálenost překážky od snímače [m]

$v$ ...rychlost šíření zvuku [m/s]

$t$ ...uplynulý čas od vyslání po jeho příjem [s]

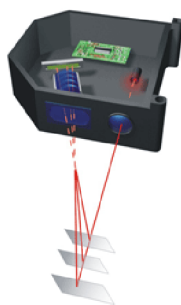
Nevýhodou těchto senzorů je především rychlost měření, která je několikanásobně nižší než u senzorů založených na optické bázi. Tyto senzory jsou přesné v řádech centimetrů a mají dosah několik metrů.



Obr. 2.5: Zjednodušené schéma ToF senzoru

### Optický senzor

Tento snímač je tvořený vysílačem IR záření a přijímačem, který odražené záření přijímá. Fungují na triangulačním principu. Vysílač generuje paprsek IR záření, které se odráží od měřené překážky pod konstantním úhlem, přijímač pak detekuje, kam odražený paprsek dopadá. Tím lze přesně určit vzdálenost překážky od senzoru. Neměří se tedy ani doba letu paprsku, ani intenzita dopadajícího záření. Tato metoda je tedy výrazně odolnější vůči okolním vlivům. [11]



Obr. 2.6: Princip triangulačního senzoru. Dostupné z [23]

### **Volba senzorů**

Pro tuto práci byly vybrány senzory založené na triangulačním principu, jelikož rychlost snímání překážky je mnohonásobně vyšší než u ultrazvukového senzoru. Dále jsou tyto optické snímače výrazně menší, což umožňuje použití většího počtu senzorů ve stejném prostoru než v případě použití ultrazvukových senzorů.

## **2.4 Řídicí elektronika**

Bez řídicí elektroniky by robot nebyl schopen vykonávat jakoukoliv činnost, neboť se řídicí elektronika stará o zpracování naměřených dat a řízení motorů. V těchto mobilních robotech se často využívají tzv. mikrokontroléry, což je jednočipový počítač, který obsahuje CPU (central processing unit), RAM (random acces memory), ROM (read only memory) a porty pro periferie. Všechny tyto jednotky bývají uloženy v jednom pouzdru. Tyto mikrokontrolery komunikují s okolním prostředím pomocí různých rozhraní.

### **2.4.1 A/D převodník**

Analogově-digitální převodník převádí analogový signál na digitální. To se využívá při zpracovávání dat pomocí procesorů, neboť procesor neumí se spojitým (analogovým) signálem pracovat. Převod probíhá tzv. vzorkováním. Vzorkovací frekvence musí být minimálně 2x větší než je maximální frekvence signálu.

### **2.4.2 Časovač/Čítač**

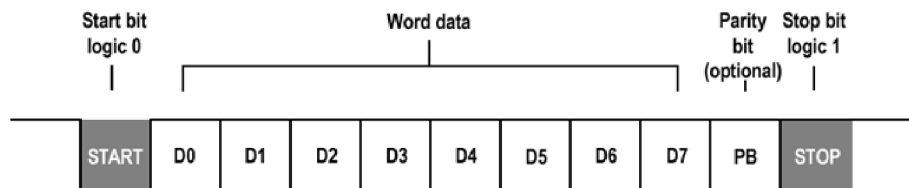
V anglické literatuře označovaný jako Timer/Counter. Časovač slouží pro čítání pulzů z vnitřního zdroje. Nejčastěji jde o čítání hodinového signálu. Čítač je určen k čítání pulzů z externího zdroje. Tyto TC se využívají i pro generování PWM signálu a často nahrazují D/A převodníky.



### 2.4.3 Sběrnice USART

Jedná se o duplexní asynchronní i synchronní sériové rozhraní, které využívá pouze dvou vodičů s označením TX (transmit) a RX (receive). Tato komunikace může pracovat ve dvou režimech:

- Asynchronní - Tento režim umožňuje plně duplexní komunikaci.
- Synchronní - Tento režim umožňuje pouze poloduplexní komunikaci. Kromě vodičů TX a RX je používán třetí vodič, který slouží jako nositel hodinového signálu.



Obr. 2.7: Rámec UART. Dostupné z [25]

Komunikace probíhá po tzv. rámcích. Rámec je tvořen start-bitem, datovými bity, paritním bitem a stop-bitem. Rychlost komunikace se udává v baudech. [25]

## 3 Návrh mechanické části robota

Mechanický návrh robota je jeden z nejdůležitějších aspektů v disciplíně Minisumo, jelikož rozměrové a hmotnostní limity jsou přísné a konstrukce robota musí být vyrobena tak, aby byl zápasník schopen vytlačit svého soupeře z ringu. Základem úspěšného robota je tedy dobrá konstrukce.

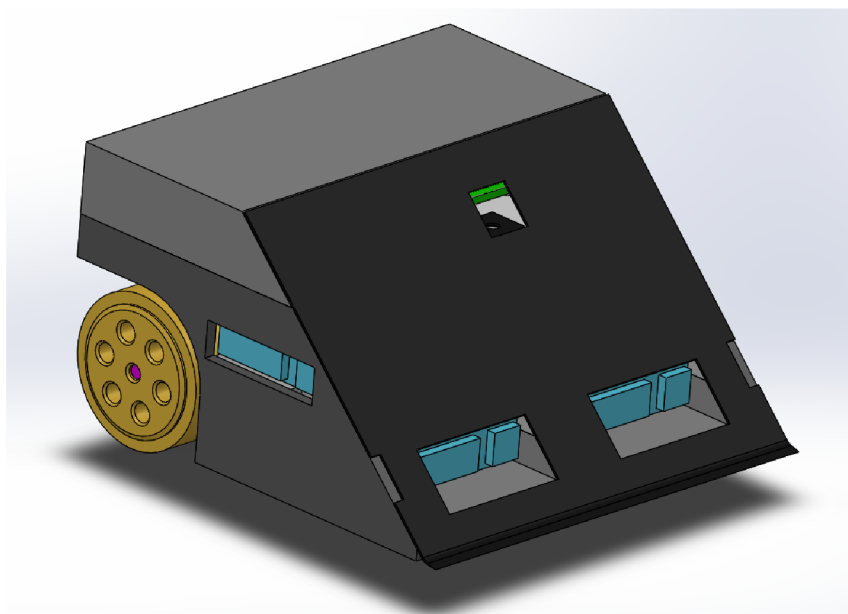
### 3.1 Tělo robota

Kostru robota pro tuto práci tvoří duralový U profil o rozměrech  $100 \times 95 \times 40$  mm pro zaručení dostatečné tuhosti konstrukce, který je doplněn díly tištěnými na 3D tiskárně z materiálu PETG. Tento materiál má větší teplotní odolnost než PLA, ale zároveň je tisk z toho materiálu stále relativně jednoduchý, na rozdíl například od ABS, které má ovšem ještě větší teplotní odolnost. Jelikož by plastové díly nemusely vydržet čelní náraz soupeře, nachází se na přední straně robota tenký ocelový plech, který by měl vnitřní konstrukci robota dostatečně ochránit.

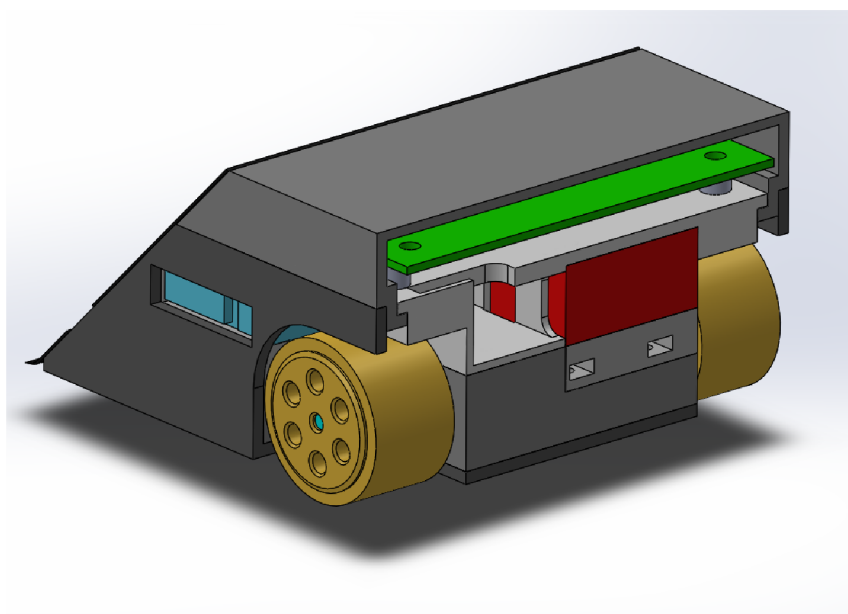
Tento robot má diferenciální podvozek, který má jednoduchou konstrukci a snadno se řídí. Kola jsou umístěna v zadní části. Opěrný bod v přední části tvoří ocelový plech. Malá styčná plocha v přední části robota tak zaručuje bezproblémové otáčení zápasníka. Díky vhodné konstrukci zde existuje nemalá pravděpodobnost, že dojde k překlopení soupeře při čelním nárazu, jelikož je přední část robota zkosená o  $45^\circ$ . To by značně usnadnilo vytlačení protivníka z ringu.

Duralový profil a ocelový plech jsou nabarveny černou barvou tak, aby tyto díly absorbovaly maximum záření, které je produkováno soupeřovými senzory. Pro protivníka by tedy mělo být obtížnější tohoto robota zachytit svými snímači a příslušně reagovat na jeho pohyb.

Akumulátor je umístěn tak, aby byla jeho výměna co možná nejsnazší a zabrala pouze několik sekund. Roboti totiž jezdí většinou několik zápasů za sebou bez možnosti dobití akumulátoru mezi souboji. Akumulátor je také náchylný na mechanické poškození, proto se musí nacházet v místech, kde je minimální pravděpodobnost nárazu protivníka. Zároveň akumulátor tvoří podstatnou část hmotnosti robota, měl by tedy být umístěn tak, aby se robot nepřevracel například při rozjezdu, nebo po nárazu do soupeře. Výsledné umístění akumulátoru je na obrázku č. 3.2, na kterém je tento akumulátor výrazně zjednodušen a je vyznačen červenou barvou.

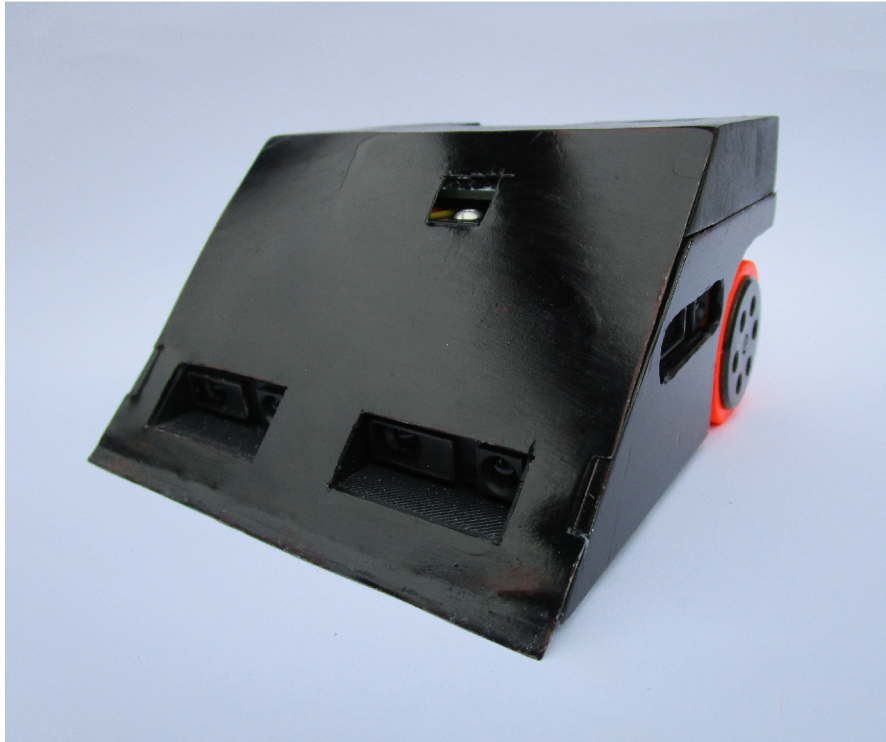


Obr. 3.1: 3D návrh robota - přední část

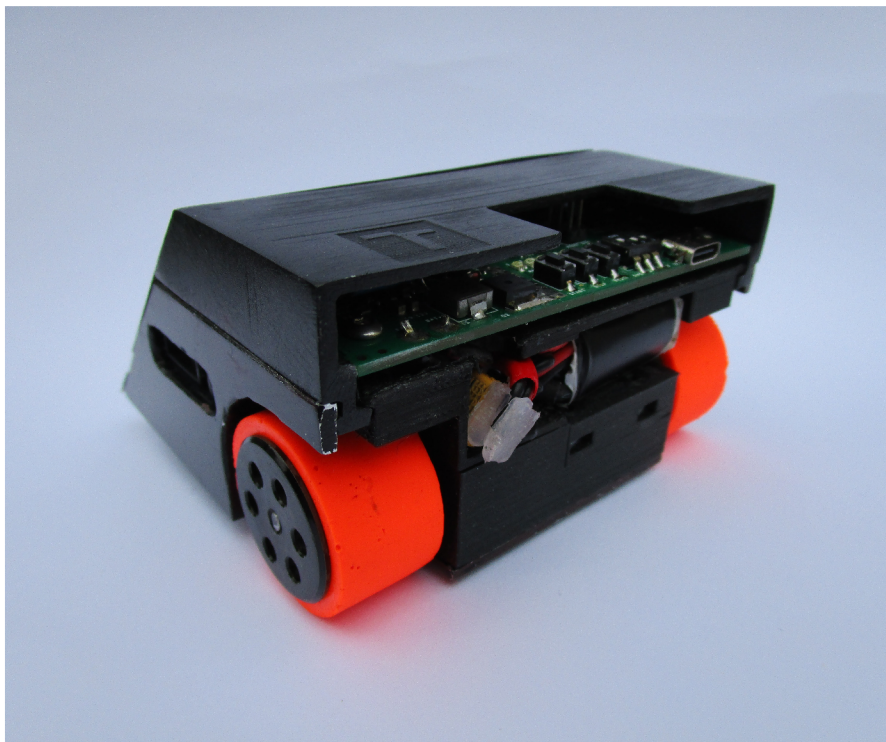


Obr. 3.2: 3D návrh robota - zadní část

Hmotnost celého robota činí přibližně 495 g a lze ji upravit dle potřeby pomocí změny výplně tištěných dílů. Tato hmotnost se pohybuje těsně pod maximální možnou hranicí, kterou dovolují pravidla, což je ideální. Finální zhotovení robota včetně osazení všech senzorů, motorů, akumulátoru a řídicí desky je možné vidět na obrázcích č. 3.3 a 3.4.



Obr. 3.3: Reálný robot - přední část



Obr. 3.4: Reálný robot - zadní část

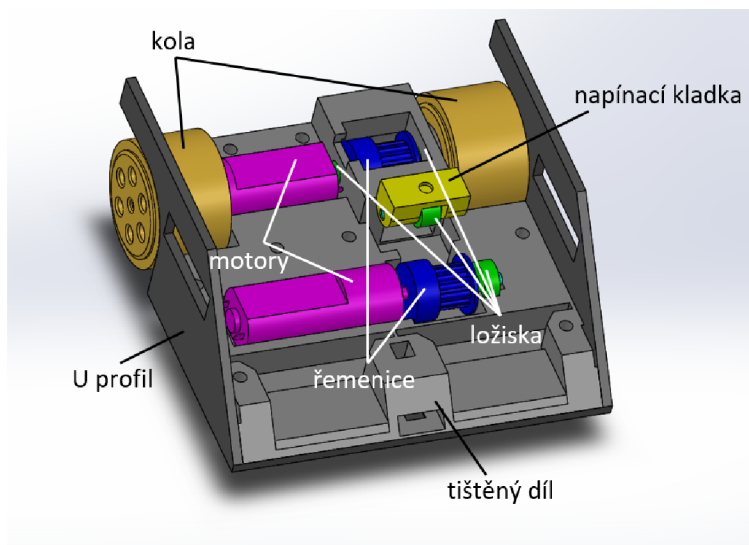
## 3.2 Pohon

Aby byl robot schopen pohybu, musí být opatřen motory. Pro tuto práci byly vybrány motory PPN13LB11B, které mají 18 000 otáček/minuta. Jelikož jsou tyto motory velmi rychlé, mají téměř nulový točivý moment, nelze je tedy používat bez převodu. Na výběr jsou dva typy převodovek.

Planetové převodovky mají výborný poměr převodu kroutícího momentu, bohužel jsou tyto převodovky o něco delší než převodovky s předním soukolím a do robota by se nevešly, tudíž musely být pro tuto práci použity převodovky s předním soukolím, které zpomalily rychlost otáčení na cca 300 otáček/minuta při jmenovitém napětí motoru 12 V.

Jelikož jsou rozměrové limity pro tuto disciplínu neúprosné, motory s převodovkami by nešly umístit vedle sebe, neboť by přesáhly maximální povolené rozměry. Jeden motor měří 52 mm a osa kol by měla být stejná z důvodu zajištění rovnoměrného otáčení robota na obě strany, proto jedno z kol není připevněno na hřídeli motoru, ale síla je na kolo přenášena pomocí ozubeného řemenu. Toto řešení je znázorněno na obrázku č. 3.5. Pro zjednodušení na obrázku není vyznačen řemen, který je napnut mezi řemenice a je přitlačován napínací kladkou. Přítlak této kladky lze upravovat šroubem. Je tedy možné nastavit optimální napětí řemenu. Při špatném napětí řemenu by totiž mohlo docházet k přeskakování zubů, nebo zbytečnému zatěžování motoru.

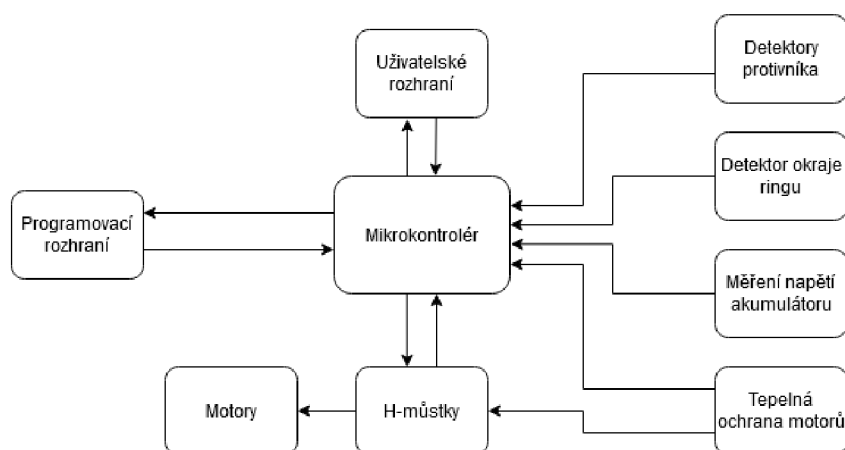
Hřídel motoru, na kterém je osazena řemenice, byl prodloužen ocelovou osou, jež prochází na protější straně ložiskem. Tento konstrukční prvek by měl zamezit vyosení řemenice vlivem napětí řemenu. Nemělo by tedy docházet k nežádoucím vibracím a tento převod by měl zaručit maximální přenos energie z motoru na kolo.



Obr. 3.5: Pohon Minisumo robota

## 4 Návrh elektronické části robota

Srdcem každého robota je řídicí elektronika. Ta se stará o zpracování dat přijatých ze senzorů a následné řízení motorů pomocí zpětné vazby. Nejdůležitější částí řídicí elektroniky je bezesporu vhodný mikrokontrolér, který musí mít dostatečný počet časovačů, A/D převodníků a jiných funkcí pro obsluhu všech periférií a celkové ovládání robota.



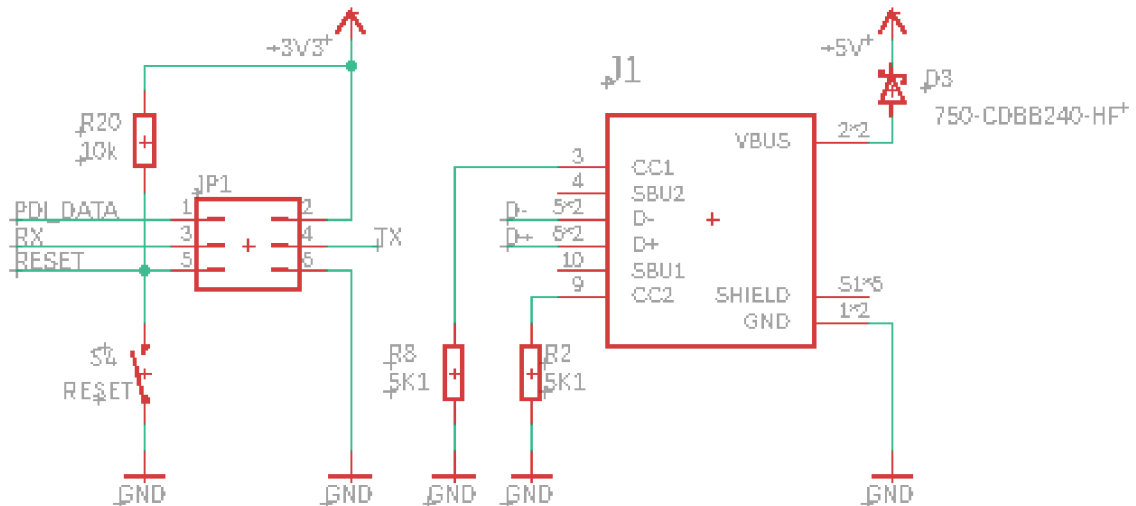
Obr. 4.1: Blokové schéma zapojení periférií

### 4.1 Mikrokontrolér

V této práci je použit 8-bitový ATMEL ATxmega32A4U, který nabízí velkou škálu možností pro připojení nejrůznějších periférií. Tento procesor pracuje s napětím 3,3 V a disponuje těmito vlastnostmi [13]:

- maximální frekvence 32 MHz
- paměť
  - Flash 32 kB + 4 kB
  - EEPROM 1 kB
  - SRAM 4 kB
- 4-kanálový DMA řadič
- pět 16-bitových čítačů/časovač
- rozhraní USB
- pět USART
- dva I<sup>2</sup>C
- dva SPI
- jeden 12-kanálový 12-bitový A/D převodník
- jeden 2-kanálový 12-bitový D/A převodník

Tento mikrokontrolér lze programovat a ladit přes rozhraní PDI, které využívá podobný datový rámec jako rozhraní UART. Jedná se o dvou vodičové zapojení, kdy pin PDI\_CLK je vstup hodinového signálu a slouží zároveň jako reset. Druhý pin s názvem PDI\_DATA slouží jako vstup a výstup pro data. Pro snadnější ladění programu a samotné programování je na programovacím konektoru vyvedeno i rozhraní UART. Dále je na desce vyvedeno rozhraní USB formou konektoru s označením USB-C, přes které lze mikrokontrolér také ladit a programovat.



Obr. 4.2: konektor s PDI, USART a USB

Na mikrokontrolér jsou připojena 3 tlačítka, jedno slouží jako reset, druhé jako stop tlačítko a třetí umožňuje spuštění programu. Robota lze osadit IR stop modulem, který zastupuje funkce tlačítek stop a start. Robotického zápasníka tedy lze řídit pomocí dálkového ovládání. Dále je robot osazen 3 přepínači pro výběr jednotlivých taktik (programů) a pěti LED diodami pro indikaci různých stavů.

## 4.2 Řízení motorů

Pro tuto práci byl vybrán H-můstek s označením DRV8874, který je schopný špičkově dodat až 6 A. Motory prochází při maximální zátěži přibližně 2 A, je tedy vytvořena dostatečně velká rezerva. Zařízení bude napájeno z tříčlánkového Li-pol akumulátoru, tudíž bude pracovat s napětím v rozmezí od 12,6 V (plně nabitý akumulátor) po 10,5 V (vybitý akumulátor).

Tento H-můstek v sobě obsahuje několik ochranných systémů, mezi které patří například[14]:

- ochrana při poklesu napětí
- ochrana při překročení maximálního proudu
- ochrana proti přehřátí
- indikace chyby

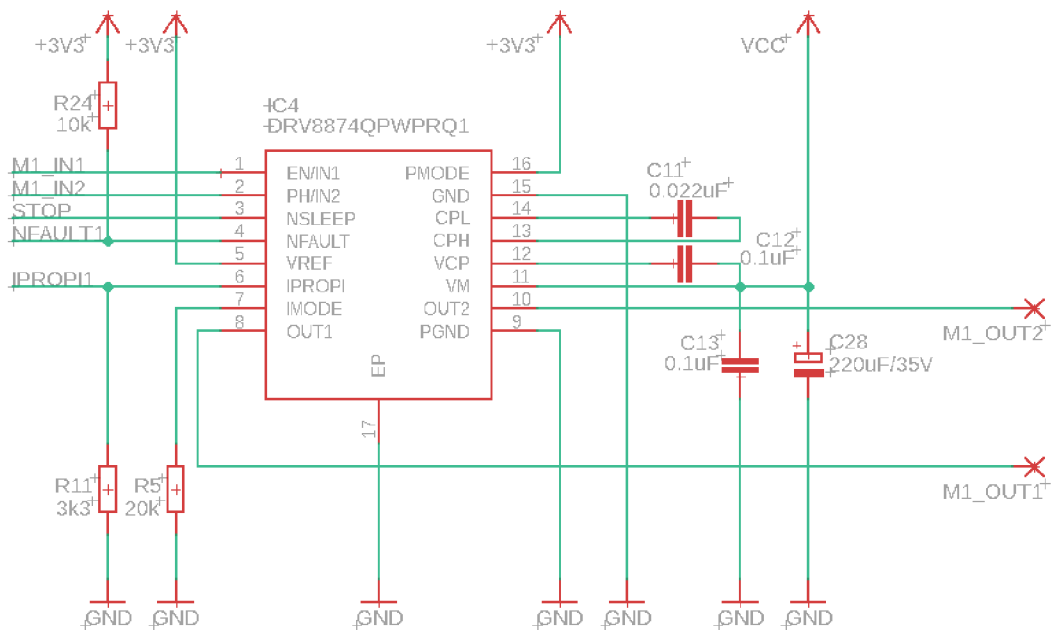
H-můstek je řízen pomocí dvou PWM signálů ( $x\_IN1$ ,  $x\_IN2$ ) a signálu s názvem  $nSLEEP$ . Pokud signál  $nSLEEP$  není aktivní, PWM signály nemají na řízení motoru žádný vliv a výstupy z H-můstku přejdou do režimu vysoké impedance. Tento signál se deaktivuje, buď při přerušení robota uživatelem, nebo při přehřátí jednoho z motorů.

Tab. 4.1: Pravdivostní tabulka obvodu DRV8874. Dostupné z [14]

$nSLEEP$	$x\_IN1$	$x\_IN2$	$x\_OUT1$	$x\_OUT2$	Popis
0	X	X	Hi-Z	Hi-Z	Spánek
1	0	0	Hi-Z	Hi-Z	Neutrál
1	0	1	L	H	Zpětný chod
1	1	0	H	L	Dopředný chod
1	1	1	H	H	Brzda

H-můstek také disponuje funkcí měření proudu tekoucího motorem, což je výhodné zejména pro rozpoznání nárazu protivníka, jelikož tato situace vede ke skokovému nárůstu proudu. Teoreticky by robot měl být schopen rozeznat pomocí této funkce i případy, kdy dojde například k přidření motoru, neboť by zde došlo také ke zvýšení odběru proudu.





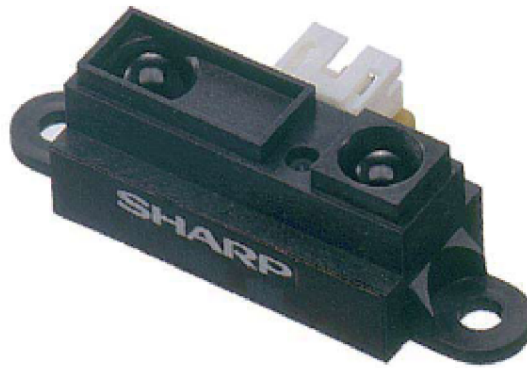
Obr. 4.3: Schema zapojení H-můstku

### 4.3 Senzorické vybavení

Senzorické vybavení je detailněji popsáno v kapitole číslo 2.3. Robot je vybaven několika druhy senzorů.

Jako snímač okraje ringu je použit reflexní optočlen QRE1113GR. Toto čidlo je velmi malé, proto je lze bez větších problémů situovat na požadované místo. Tento senzor je umístěn v přední části robota cca 3 mm nad povrchem, což by mělo zaručovat dobré snímání barev, navíc je dobře cloněn okolní konstrukcí, tudíž by se měl minimalizovat vliv parazitních jevů.

Senzory s označením SHARP GP2Y0A21YK0F robot využívá pro detekci soupeře. Tyto senzory fungují na triangulačním principu a dokáží měřit vzdálenost 10 - 80 cm, což by měl být dostatečný rozsah. Čidla pracují s napětím 4,5 - 5,5 V. Robot je osazen celkově čtyřmi kusy těchto senzorů. Dva jsou umístěny v přední části robota, zbylé se nachází na bočních stranách. Toto rozmístění by mělo zamezit objektu robota soupeřem a mělo umožnit dobré vnímání prostoru.



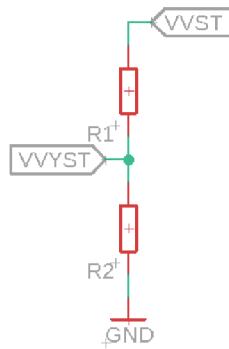
Obr. 4.4: Sensor SHARP GP2Y0A21YK0F. Dostupné z [17]

Snímače pro detekci okraje ringu a detekci soupeře mají pouze dva vodiče pro napájení a jeden vodič přenášející výstupní signál. Jelikož lze využít vnitřní referenci mikrokontroléru, která odpovídá hodnotě 1 V, bylo pomocí napěťových děličů sníženo výstupní napětí senzorů tak, aby výstupní hodnota také nepřekročila 1 V.

Jako příklad výpočtu takového děliče lze uvést např. snímače pro detekci soupeře. Výrobce senzoru SHARP GP2Y0A21YK0F uvádí, že hodnota výstupního napětí při vzdálenosti 80 cm od odrazné plochy, která je bílá a její odrazový činitel je roven 90 %, činí 2,15 V a do děliče vstupuje jako vstupní napětí  $V_{vst}$ . Požadovaná hodnota výstupního napětí  $V_{výst}$  je 1 V. Velikost proudu protékajícího děličem je stanovena na hodnotu přibližně  $100 \mu\text{A}$ . Hodnota rezistoru  $R_2$  je podle velikosti proudu spočítána na  $10 \text{ k}\Omega$ . Uvedeným vztahem lze vypočítat hodnotu  $R_1$ :

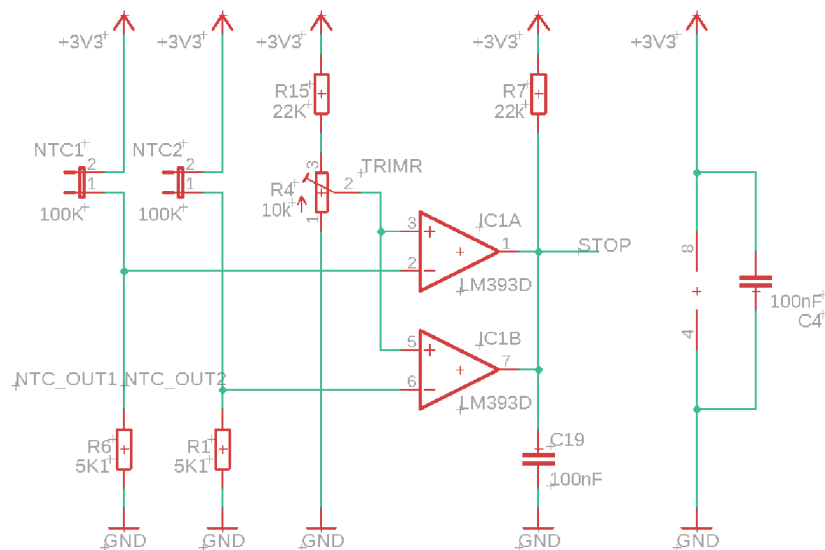
$$R_1 = \frac{V_{vst} \cdot R_2}{V_{výst}} - R_2 = \frac{2,15 \cdot 10 \cdot 10^3}{1} - 10 \cdot 10^3 = 11,5 \text{ k}\Omega \quad (4.1)$$

Jelikož se rezistor s hodnotou odporu  $11,5 \text{ k}\Omega$  nevyrábí, je místo něj použit rezistor, jehož hodnota činí  $12 \text{ k}\Omega$ . Hodnota napětí  $V_{výst}$  se tedy změní na  $0,98 \text{ V}$ , což je zanedbatelné.



Obr. 4.5: Napěťový dělič

Jako senzorické vybavení může být zařazena i ochrana proti přehřátí motorů, o kterou se stará dvojice NTC termistorů s odporem  $100\text{ k}\Omega$  při teplotě  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , jejich výstup je vyveden do A/D převodníku mikrokontroléru a také do komparátoru LM393D. Komparátor je implementován pro zastavení motorů v případech, kdy by došlo k fatálnímu přehřátí motorů, ke kterému by mohlo dojít například při selhání mikrokontroléru. Jelikož má tento komparátor na výstupech otevřený kolektor, mohou být tyto výstupy zapojeny paralelně. Toto zapojení potom bude fungovat jako logická funkce AND. Sepnutí této ochrany je možné korigovat trimrem R4. Trimr společně s odporem R15 tvoří napěťový dělič. Hodnota R15 je spočítána tak, aby maximální výstupní napětí trimru mělo hodnotu  $1\text{ V}$ . To umožní využívat celý rozsah trimru. Zároveň je výstup z trimru přiveden na A/D převodník mikrokontroléru, tudíž může být nastavená hodnota monitorována. Schema zapojení je uvedeno na obrázku č. 4.6.

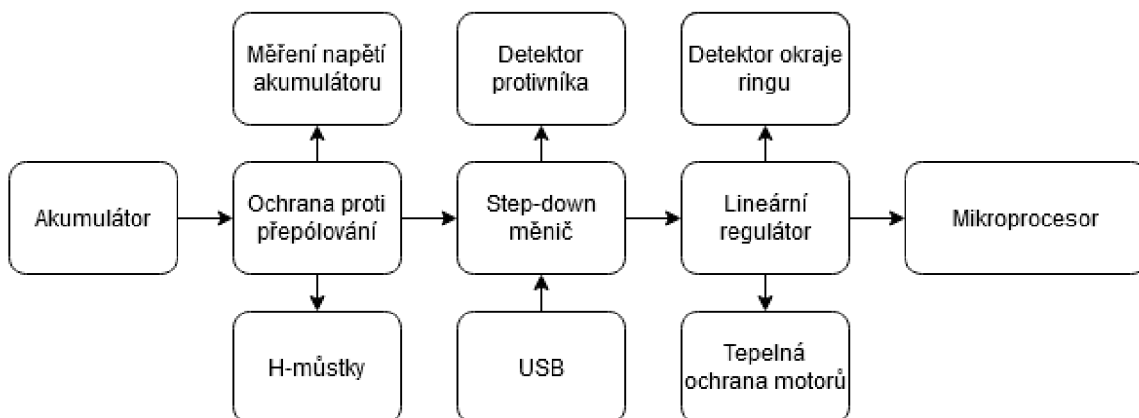


Obr. 4.6: Schema zapojení NTC termistorů

Mikrokontrolérem je měřen i aktuální stav nabití akumulátoru. Pokud by došlo k podbití akumulátoru, pravděpodobně by to znamenalo jeho zničení. K měření se opět využívá napěťový dělič, který je opět počítán pro referenci 1 V.

## 4.4 Napájení

Napájení robota bude realizováno pomocí několika obvodů, které budou zapojeny podle následujícího schématu.



Obr. 4.7: Blokové schéma zapojení napájení

### 4.4.1 Akumulátor

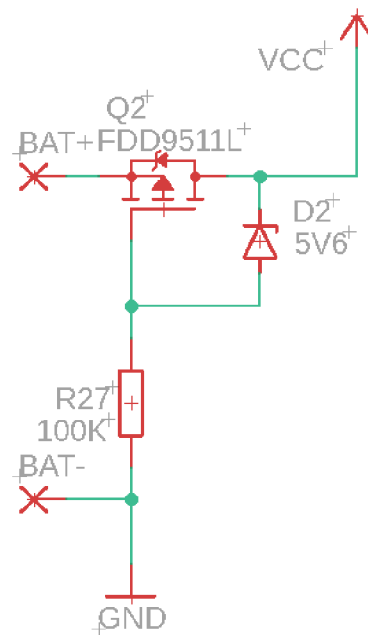
Robot bude napájen z akumulátoru značky GENS ACE TATTU, konkrétně jde o tříčlánkový model 75C, který má jmenovité napětí 11,1 V a kapacitu 650 mAh. Maximální hodnota proudového zatížení lze vypočítat jako  $75 \cdot 650 \cdot 10^{-3} = 48,75$  A. Toto zatížení tedy činí 48,75 A, což výrazně překračuje potřeby robota. Více informací o akumulátorech je uvedeno v kapitole 2.2.

### 4.4.2 Ochrana proti přepólování

Akumulátor je opatřen konektorem s označením XT30, který zamezuje případnému přepólování elektroniky, neboť jej lze zapojit pouze v jednom směru. Jelikož bude robot při testování napájen i z jiných zdrojů energie, je zde přesto aplikována ochrana proti přepólování.

Ohranou bude protékat relativně velký proud, proto použití ochrany na principu sériově zapojené diody není možné. V případě ochrany, která je založena principu paralelně zapojené diody společně s tavnou pojistkou zase dochází v případě přepólování k destrukci pojistky. Výhodnější je tedy realizovat ochranu pomocí mosfetu

s P-kanálem, jež vydrží velikost protékajícího proudu a v případě přepólování nedochází k žádné destrukci.



Obr. 4.8: Schema zapojení ochrany proti přepólování

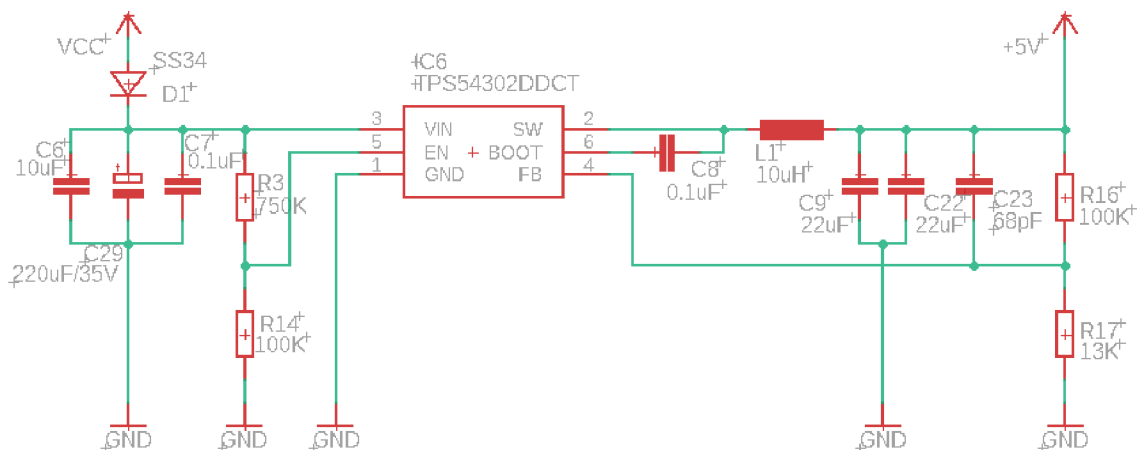
### 4.4.3 DC/DC regulátory

Jelikož senzory SHARP GP2Y0A21YK0F vyžadují napájení v rozmezí 4,5 - 5,5 V a zbylé periferie včetně mikrokontroléru pracují s napětím 3,3 V, musí být napětí z akumulátoru sníženo. Integrovaný obvod s označením TPS54302, se stará o pokles napětí z akumulátoru na napětí 5 V. Jedná se o step-down měnič, který pracuje na frekvenci 400 kHz.

Tento step-down měnič byl vybrán z důvodu velké spínací frekvence, díky které může být indukčnost cívky L1 nižší, což znamená ušetření prostoru na DPS.

Pokud napětí akumulátoru klesne na úroveň 10,5 V dojde k přerušení činnosti tohoto měniče, což zabraňuje podbití akumulátoru i v případě, kdy selže měření stavu baterie mikrokontrolérem. Kondenzátor C29 z obrázku č. 4.9 pokrývá krátkodobé poklesy napětí a dioda D1 zpomaluje rychlost jeho vybíjení. Rezistory R16 a R17 je nastavována hodnota výstupního napětí. Jelikož se velikost napětí  $V_{ref}$  rovná 0,596 V, velikost výstupní napětí  $V_{out}$  je 5 V a velikost odporu  $R_{16}$  je 100 k $\Omega$ , lze vypočítat hodnotu  $R_{17}$  rovnicí:

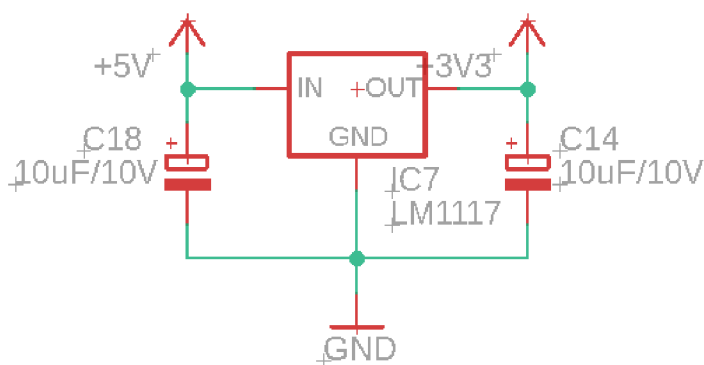
$$R_{17} = \frac{R_{16} \cdot V_{ref}}{V_{out} - V_{ref}} = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot 0,596}{5 - 0,596} = 13,5 \text{ k}\Omega \approx 13 \text{ k}\Omega \quad (4.2)$$



Obr. 4.9: Schema zapojení step-down měniče

Protože zbytek elektroniky vyžaduje napájení o velikosti napětí 3,3 V, je zde použit lineární regulátor s označením LM1117, který sníží napětí 5 V na napětí 3,3 V. Jelikož lineární regulátory nejsou tak efektivní jako step-down měniče, při napájení tohoto regulátoru přímo z akumulátoru by docházelo k velkým ztrátám. Zároveň je použití druhého step-down měniče zbytečné, neboť zapojení lineárního regulátoru je mnohem jednodušší než u step-down měniče.

Výstupní napětí tohoto měniče nelze regulovat. Jeho vnitřní reference je nastavena tak, aby výstupní napětí činilo 3,3 V. Výstupní kondenzátor C14 napomáhá k udržování stability výstupního napětí. Výrobce doporučuje použití tantalových kondenzátorů z důvodu dostatečně vysoké hodnoty ESR. Doporučená hodnota ESR kondenzátorů je u tohoto regulátoru v intervalu od 0,3 do 22  $\Omega$ .



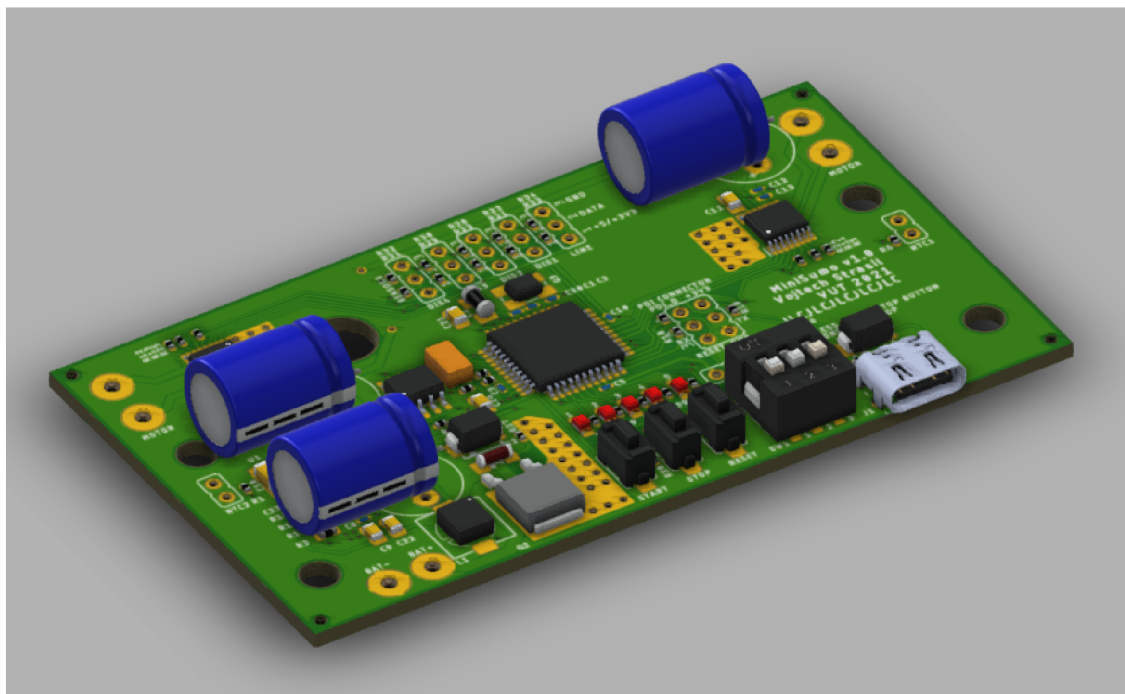
Obr. 4.10: Schema zapojení lineárního regulátoru

## 4.5 Deska plošných spojů

Rozměry DPS činí 89×50 mm a jsou odvozeny z dispozic 3D návrhu robota. Deska plošných spojů je umístěna ve vrchní části robota tak, aby byla zajištěna dobrá obsluha ovládacích prvků. Zároveň je ale většina DPS ochráněna plastovým krytem, který by měl zamezit náhodnému kontaktu s elektronikou. Při návrhu DPS byl také kladen důraz na umístění vstupů a výstupů pro motory a senzory tak, aby byly vodiče k těmto prvkům co nejkratší.

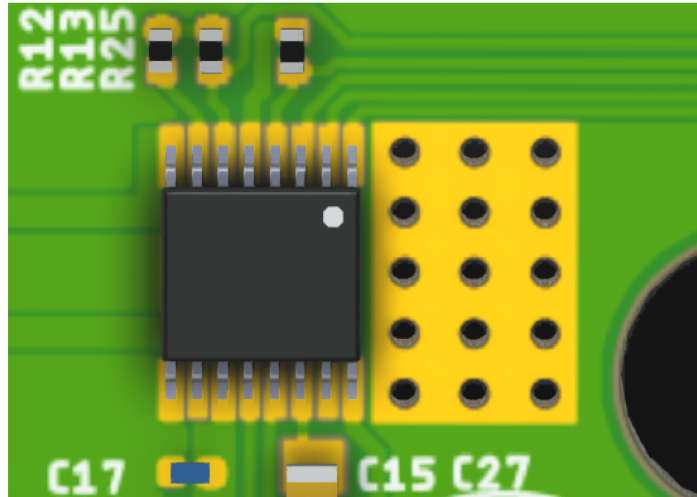
Jelikož řídicí elektronika obsahuje několik integrovaných obvodů, které jsou v relativně malém pouzdře, ručně by se osazovaly velmi obtížně, proto je většina součástek na desce osazena strojově. Zvolený osazovací stroj je schopný osadit pouze jednu stranu desky, proto jsou všechny součástky umístěny na vrchní straně desky s označením TOP. Samotná DPS je dvouvrstvá, jelikož by bylo velice obtížné navrhout pouze jednostrannou desku a bylo by zapotřebí velké množství propojovacích prvků.

Protože se musí vměstnat relativně velké množství součástek na malou plochu, většina součástek je v provedení pro povrchovou montáž. Pasivní součástky jsou většinou v provedení 0402. Velké elektrolytické kondenzátory jsou v provedení THT, jelikož jsou na desku položeny vodorovně tak, aby výsledná výška osazené desky byla co nejmenší z důvodu minimalizace plochy, kterou je protivník schopen zaměřit svými senzory. Trojrozměrný návrh DPS je na obrázku 4.11.



Obr. 4.11: 3D Návrh DPS

Na desce jsou také použity prokovy s větším průměrem, které nahrazují hliníkové pasivní chladiče výkonových součástek. Detail tohoto řešení je zobrazen na obrázku č. 4.12. Spolu s nimi je na DPS aplikován tzv. polygon. V této práci je použit polygon pro signál GND, tento signál je tedy rozprostřen po celé desce tam, kde je to možné. Polygon napomáhá lépe rozvádět teplo po celé desce a zároveň zabraňuje některým parazitním jevům.



Obr. 4.12: Detail prokovů použitých místo chladiče



## 5 Software

Software robota je stejně důležitý jako jeho hardwarová část, jelikož by robot bez softwarového vybavení nebyl schopen žádné akce. Použitý mikrokontrolér je možno programovat hned v několika programovacích jazycích, jako jsou například C, C++, nebo assembler. Protože by tento robot mohl sloužit i k výuce studentů, kteří s programováním začínají, byl pro naprogramování robota zvolen programovací jazyk C. Tento programovací jazyk je dobře srozumitelný a není tak náročný na naučení, jako v případech objektové programování například v jazyku C++.

Pro samotné programování bylo použito starší vývojové prostředí s názvem Atmel Studio 7.0, které se jevílo stabilnější, než jeho novější verze od společnosti Microchip. Jelikož bylo komunikační rozhraní PDI použito pouze pro nahrání správného zavaděče, byl využíván i software s názvem FLIP, pomocí kterého lze vytvořený program nahrát do mikrokontroléru skrze sériovou linku nebo rozhraní USB.

### 5.1 Bootloader

Programování a ladění robota přes rozhraní USB je velmi výhodné, protože k němu není potřeba žádné další zařízení, jako jsou například různé programátory. Robota stačí pouze propojit s počítačem pomocí kabelu USB-C. Jelikož mikrokontrolér bez bootloderu umožňuje programování pouze přes rozhraní PDI, musí se do jeho paměti tento zavaděč nahrát. Bootloader posléze umožní nahrávat programy přes jiná rozhraní. Pro robota byl použit zavaděč výrobce s označením AVR1916 ve verzi 1.0.4.

Tento bootloader funguje tak, že se při spuštění mikrokontroléru nebo jeho resetu nejdříve ověří stav RST.STATUS registru. Pokud je podmínka splněna, pustí se aplikace, jež je v čipu nahrána, jinak je kontrolována další podmínka. V této podmínce je ověřován externí pin mikrokontroléru. Jestliže je tento pin připojen na GND, mikrokontrolér se k PC připojí jako DFU. Zařízení v tomto režimu lze programovat přes software FLIP. V opačném případě se ověří, zda-li není část paměti pro aplikaci prázdná, a pokud ne, spustí se daná aplikace. Když paměť prázdná je, mikrokontrolér se opět připojí jako zařízení DFU.

Použitý mikrokontrolér má vstup, který určuje, zda zařízení přejde do módu DFU, ve výchozím stavu nastaven na pinu s označením PC3. V případě robota je ovšem na tomto pinu připojena LED dioda, tudíž tento pin nemohl být použit. Tento bootloader byl tedy upraven a tato funkce byla přenesena na pin PD5, na kterém je připojeno stop tlačítko. Pokud je tlačítko stop zmáčknuto během zapínání, nebo resetu robota, zařízení se připojí k počítači v DFU módu.

## 5.2 Aplikační část

Při psaní komplexnějších programů, mezi které se jistě řadí i program robota, je důležité zachovat maximální přehlednost psaného kódu. Proto je program rozdělen do několika souborů, které obsluhují jednotlivé periferie a v souboru `main.c` se převážně volají pouze funkce z těchto souborů. Velký důraz při tvorbě těchto souborů byl kladen především na intuitivní a snadné používání jednotlivých funkcí v `main.c` a snadnou implementaci veškerých periférií do nového programu. Pokud tedy bude uživatel z nějakého důvodu používat pouze uživatelské rozhraní robota, stačí do nového programu vložit soubory `HID.h` a `HID.c`. Uživatel pak může snadno ovládat veškeré LED diody, tlačítka a přepínače umístěné na DPS.

### 5.2.1 HID.c

Jak již bylo uvedeno výše, tato část programu má na starost obsluhu periférií, které přímo komunikují s uživatelem. Je zde tedy zajištěna obsluha LED diod, tlačítek, přepínačů a je v tomto souboru zahrnuto i nastavení oscilátoru a časovače. Tento časovač lze použít takovým způsobem, jako je například přepnutí stavového automatu do jiného stavu po určité době.

Pro snazší práci jsou piny jednotlivých periférií definovány názvy, kterými jsou dané periferie označeny na DPS. Programátor si tedy nemusí pamatovat, na kterém pinu je například LED dioda s označením 1 připojena, ale do programu stačí napsat pouze `LED1`. V tabulce 5.1 jsou popsány jednotlivé funkce této části programu.

Tab. 5.1: HID.c

Funkce	Popis
<code>void hid_init(void)</code>	Nastavení vstupů a výstupů mikrokontroleru.
<code>void led_on(uint8_t aLED)</code>	Rozsvícení požadované LED diody, pokud již nesvítí.
<code>void led_off(uint8_t aLED)</code>	Zhasnutí požadované LED diody, pokud svítí.
<code>uint8_t button(uint8_t aBUTTON)</code>	Obsluha tlačítek.
<code>int dip(void)</code>	Převod čísel nastavených na přepínačích na datový typ <code>int</code> .
<code>void clock_init(void)</code>	Nastavení interního 32 MHz oscilátoru.
<code>void timer_init(void)</code>	Nastavení a spuštění činnosti časovačů.
<code>long timer_act(void)</code>	Vrácení hodnoty časovače, počítané od jeho spuštění.

## 5.2.2 Motors.c

Tento soubor, jak už jeho název napovídá, je zaměřen na práci s motory. Samotné H-můstky jsou řízeny PWM signálem, který generuje časovač s označením TCE0. Popis jednotlivých funkcí je v tabulce č. 5.2.

Tab. 5.2: Motors.c

Funkce	Popis
void motors_init(void)	Nastavení vstupů, výstupů mikrokontroleru a časovače.
void motors_inter(void)	Obsluha přerušení.
void motorR_forward(uint8_t aSPEED)	Dopředný chod pravého motoru nastavenou rychlostí.
void motorL_forward(uint8_t aSPEED)	Dopředný chod levého motoru nastavenou rychlostí.
void motorR_backward(uint8_t aSPEED)	Zpětný chod pravého motoru nastavenou rychlostí.
void motorL_backward(uint8_t aSPEED)	Zpětný chod levého motoru nastavenou rychlostí.
void motorR_stop(void)	Zastavení chodu pravého motoru.
void motorL_stop(void)	Zastavení chodu levého motoru.
void motorR_break(void)	Zablokování pravého motoru.
void motorL_break(void)	Zablokování levého motoru.

## 5.2.3 Sensors.c

Tento soubor má za úkol vyčítat hodnoty ze sensorů a dále je zpracovávat, proto je zaměřen převážně na práci s A/D převodníkem. Jednotlivé senzory jsou opět definovány takovými názvy, jakými jsou popsány na DPS, což usnadňuje jejich používání, podobně jako v případě HID. Přehled funkcí je uveden v tabulce č. 5.3

Tab. 5.3: Sensors.c

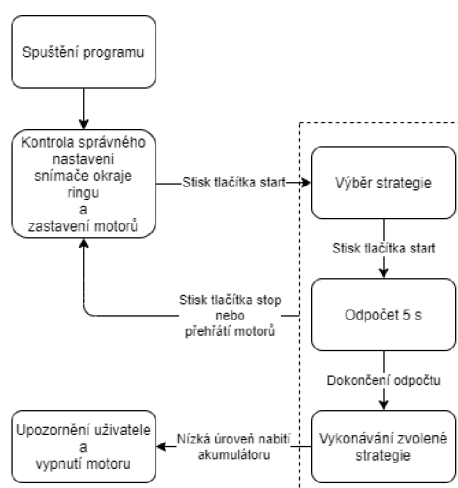
Funkce	Popis
void sensors_init(void)	Nastavení A/D převodníků.
int sensor_ch0(uint8_t aSENSOR)	A/D převod s využitím kanálu 0.
int sensor_ch1(uint8_t aSENSOR)	A/D převod s využitím kanálu 1.
int sensor_ch2(uint8_t aSENSOR)	A/D převod s využitím kanálu 2.
int sensor_ch3(uint8_t aSENSOR)	A/D převod s využitím kanálu 3.
uint8_t is_battery_ok(void)	Kontrola stavu nabití baterie.

Jelikož všechny funkce sensor\_ch0, sensor\_ch1, sensor\_ch2 a sensor\_ch3 pracují s jiným kanálem, robot může vyčítat až 4 hodnoty ze sensorů současně.

## 5.2.4 Main.c

V této části je naprogramováno samotné chování robota, které je realizováno pomocí stavového automatu. Jelikož může robot obsahovat nespočet různých strategií jak protivníka vytlačit z ringu, není možné naprogramovat všechny strategie. Byly tedy naprogramovány ukázky čtyř základních strategií.

Když se program spustí, jsou nejdříve volány všechny inicializační funkce, poté přejde program do nekonečné smyčky. Na začátku této smyčky je nejdříve kontrolováno, zda není sepnuto tlačítko stop. Pokud stisknuto je, přejde se do výchozího stavu, kde se vypnou oba motory, pokud předtím běžely. Do tohoto stavu by se stavový automat dostal i v případě, pokud by došlo k přehřátí jednoho z motorů. Nedošlo by tedy k nečekanému rozjetí robota, když by motory vychladly. V tomto stavu si také může uživatel ověřit, zda je senzor pro detekci okraje ringu správně nakalibrován, jelikož je zde vytvořen indikátor pomocí LED diod. Ten funguje tím způsobem, že když robot stojí na černé podložce, měly by být zhaslé všechny LED diody. Pokud robot stojí na bílém podkladu, měly by svítit všechny LED diody. Když by byl robot na bílé podložce a svítila by pouze část LED diod, nebo by se robot nacházel na černém podkladu a svítila by nějaká z LED diod, bylo by potřeba v programu upravit mez odraženého světla, na kterou robot reaguje, když najede na bílý okraj ringu. Automat v tomto stavu zůstane do doby, dokud nebude stisknuto tlačítko start. Poté program pomocí LED diod zobrazí číslo strategie, které je nastaveno na přepínačích. Po opětovném stisku tlačítka start se zkontroluje stav akumulátoru, a pokud je dostatečně nabitý, spustí se 5 s odpočet. Když by byla úroveň nabití akumulátoru nízká, robot by signalizoval tento stav blikáním všech LED diod frekvencí přibližně 5 Hz. Po odpočtu daného času robot začne vykonávat zadanou strategii.

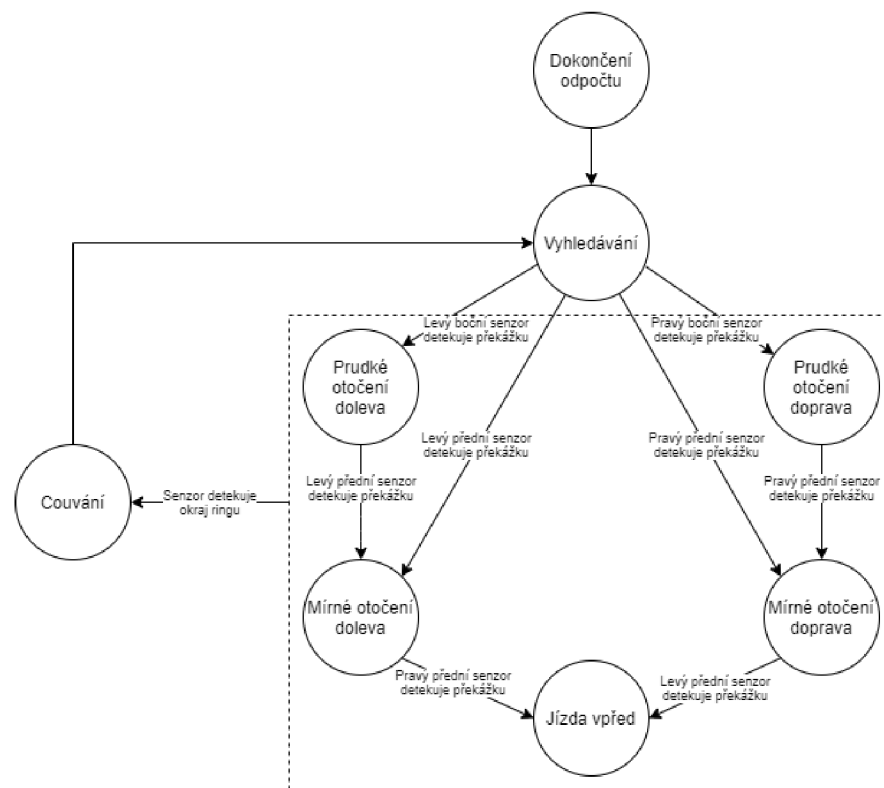


Obr. 5.1: Vývojový diagram hlavní části programu

## 1. a 2. strategie

V těchto strategiích se robot snaží co nejrychleji nalézt svého soupeře, čelně se s ním srazit a vytlačit ho hrubou silou ven z ringu. Jelikož jsou tyto strategie velmi podobné a liší se pouze v tom, na kterou stranu se začne robot na začátku souboje otáčet, budou tyto strategie popsány společně.

Po odpočtu 5 s od startu souboje se robot začne na místě otáčet. Jeden motor tedy jede zadanou rychlostí dopředu a druhý dozadu. Otáčením se tak snaží zachytit protivníka svými triangulačními senzory. Když jakýkoliv snímač zachytí soupeře, program opustí tento stav vyhledávání. Pokud soupeře zachytí boční senzory, robot se opět začne otáčet na místě, dokud přední snímače nezaregistrují soupeře, nebo soupeře nedetekuje senzor umístěný na druhé straně. Jestliže protivníka zaregistruje jeden z předních sensorů, jedno kolo se zastaví a druhé pojedje vpřed. Robot se tedy nebude otáčet tak rychle, jako v případě bočních sensorů. V okamžiku, kdy oba přední senzory před sebou registrují protivníka, robot se rozjede rovně, čímž by mělo dojít k čelní srážce a vytlačení soupeře. Pokud robot v jakémkoliv stavu najede na bílé ohraničení ringu, couvne a začne opět vyhledávat protivníka. Na obrázku 5.3 je znázorněn vývojový diagram těchto strategií. Jelikož by byl diagram pro pohybující se objekt velmi složitý, je tento obrázek značně zjednodušen a diagram počítá pouze s případem, kdy má robot vytlačit z ringu stacionární objekt.

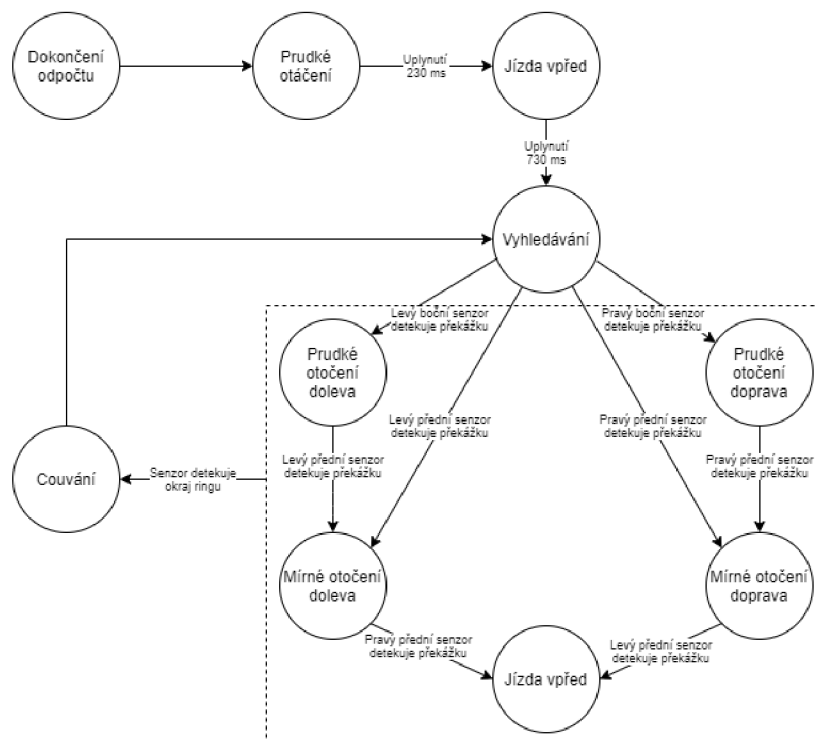


Obr. 5.2: Vývojový diagram první a druhé strategie

### 3. a 4. strategie

Tyto strategie se snaží protivníka objet a narazit do něj z boku (v nejlepším případě zezadu). V takovém případě totiž soupeř nemá skoro žádnou šanci zápas vyhrát, jelikož většina robotů využívá konstrukce, která neumožňuje otočení robota, pokud na něj z boku působí cizí síla. Tyto strategie jsou opět velmi podobné, neboť se liší pouze tím, kterou stranou se bude robot snažit protivníka objet, proto budou popsány také pohromadě.

Jelikož na robotovi bohužel nejsou žádné snímače otáček, musel být v tomto případě použit časovač. Vyprší-li 5 s odpočtu, robot se začne otáčet na místě po dobu 270 ms. To při zhruba poloviční rychlosti motorů zapříčiní, že se robot otočí přibližně o 135°. Poté robot pokračuje rovně po dobu zhruba 730 ms, bez ohledu na to, co vidí snímače pro detekci soupeře. Následně by měl pokračovat podobně, jako v případě 1. strategie. Po rovné jízdě tedy opět začne vyhledávat soupeře otáčením se kolem své osy. Když nalezne protivníka, snaží se s tím co nejrychleji srazit. V ideálním případě by se tedy robot měl dostat do oblasti za soupeřem. Když by soupeř nestihl zareagovat, robot by měl narazit do boční nebo zadní části soupeře a bez problémů ho vytlačit. Vývojový diagram k těmto strategiím je vyobrazen na obrázku 5.3. Stejně jako v případě 1. a 2. strategie je tento diagram zjednodušen a platí pouze pro vytlačení stacionárního objektu.



Obr. 5.3: Vývojový diagram třetí a čtvrté strategie

# Závěr

Tato práce se zaměřovala na návrh robota pro soutěž Minisumo. Byl navržen pohonný systém pro robotického zápasníka, který je realizován pomocí dvojice DC motorů, které jsou doplněny převodovkami s předním soukolím. Tyto motory jsou řízeny dvěma H-můstkami s označením DRV8874, které umožňují regulaci otáček motoru pomocí PWM signálu.

Srdcem řídicí jednotky je 8-bitový mikrokontroler od firmy ATMEL s označením ATxmega32A4U, který nabízí dostatečně velké množství I/O pinů pro zapojení všech periférií. Pro programování a ladění mikrokontroléru lze využít rozhraní PDI, UART a rozhraní USB, které je na DPS vyvedeno pomocí konektoru USB-C. Pro komunikaci s uživatelem robot využívá trojici tlačítek a pětici LED diod. Robot je vybaven přepínačem pro volbu strategií. Zápasníka lze také osadit komerčně dostupným bezdrátovým IR stop tlačítkem, které nahrazuje funkci tlačítek stop a start na DPS.

Robot je opatřen čtyřmi senzory pro detekci soupeře, které využívají triangulačního principu. Pro detekci okraje ringu je implementován jeden reflexní optočlen. Řídicí elektronika také sleduje aktuální stav vybití baterie, aktuální zahřátí motorů a hodnotu proudu, jenž protéká motory.

Pro napájení je použit 3-článek Li-pol akumulátor. Napájecí část dále obsahuje dvojici DC/DC regulátorů, které mají za úkol napájet zbytek připojených periférií. Dále je zde aplikována ochrana proti přepólování elektroniky a ochrana proti podbití akumulátoru v případě selhání řídicí jednotky.

Mechanická část je plně funkční. Oživení elektronické části robota proběhlo také bez větších potíží. Všechny systémy byly otestovány jednoduchými programy a zkušební provoz ověřil, že fungují správně.

Pro robota byl vytvořen software, který je schopen obsluhovat všechny jeho periférie. Byly také navrženy základní strategie, které by měly zaručit vytlačení protivníka z ringu. Jednotlivé strategie byly testovány na soutěžním ringu nejdříve s nepohybující se krabicí o rozměrech 10x10 cm a hmotnosti přibližně 600 g, která měla nahradit soupeře. V pozdější fázi testování bylo s krabicí hýbáno tak, aby simulovala pohyb soupeře. Robotovi se vždy podařilo nalézt tento objekt a bez větších obtíží ho vytlačit ven z ringu.

# Literatura

- [1] ROBOTCHALLENGE: *RobotChallenge - Robot Sumo Rules* [online]. robotchallenge.org.cn, leden 2011, [cit. 4. 12. 2020]. Dostupné z URL: <http://www.robotchallenge.org.cn/doc/en/RC-Sumo.pdf>.
- [2] ŘEZÁČ, Kamil: *Krokové motory* [online]. robotika.cz, říjen 2002, [cit. 22. 12. 2020]. Dostupné z URL: <https://robotika.cz/articles/steppers/cs>.
- [3] YEDAMALE, Padmaraja: *Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals* [online]. Application Note AN885. Microchip Technology Inc.: 2003, [cit. 23. 12. 2020]. Dostupné z URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00885a.pdf>.
- [4] FAENELL: *Some principles of direct current (D.C.) motors* [online]. farnell.com, [cit. 23. 12. 2020]. Dostupné z URL: <https://www.farnell.com/datasheets/62656.pdf>.
- [5] FOJT, Bohumil: *MODUL PRO ŘÍZENÍ DC MOTORŮ* [online]. Vysoké učení technické v Brně, 2010, [cit. 23. 12. 2020]. Dostupné z URL: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=29635](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29635).
- [6] UMADI, Sarita S, PATIL, Dinesh: *DC MOTOR SPEED CONTROL USING MICROCONTROLLER* [online]. ijetjournal.org, prosinec 2016, [cit. 23. 12. 2020]. Dostupné z URL: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjKh5mc3P\\_tAhX0yYUKHeUdADM4ChAWMAF6BAgBEAI&url=http%3A%2F%2Fwww.makeitortakeit.in%2Fdocuments%2F390%2F20.\\_Dc\\_motor\\_with\\_speed\\_control.pdf&usq=A0vVaw2g78338ebCHAGC5k30ee6x](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjKh5mc3P_tAhX0yYUKHeUdADM4ChAWMAF6BAgBEAI&url=http%3A%2F%2Fwww.makeitortakeit.in%2Fdocuments%2F390%2F20._Dc_motor_with_speed_control.pdf&usq=A0vVaw2g78338ebCHAGC5k30ee6x).
- [7] ROSU-HAMZESCU, Mihnea: *Ni-MH Battery Charger Application Library* [online]. Application Note AN1384. Microchip Technology Inc.: 2011, [cit. 23. 12. 2020]. Dostupné z URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01384A.pdf>.
- [8] CHU, Brian: *Designing A Li-Ion Battery Charger and Load Sharing System With Microchip's Stand-Alone Li-Ion Battery Charge Management Controller* [online]. Application Note AN1149. Microchip Technology Inc.: 2008, [cit. 23. 12. 2020]. Dostupné z URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/01149c.pdf>.



- [9] AUTOMA: *Polovodičové snímače teploty – termistory* [online]. automa.cz, leden 2015, [cit. 23.12.2020]. Dostupné z URL:  
<[https://www.automata.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/53323.pdf](https://www.automata.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/53323.pdf)>.
- [10] MURATA: *Ultrasonic Sensor* [online]. muRata, srpen 2009, [cit. 25.12.2020]. Dostupné z URL:  
<<https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/B400/ULTRASCHALL%20SENSOR.pdf>>.
- [11] PASTORIUS, Walt: *TRIANGULATION SENSORS An Overview* [online]. LMI Technologies Inc., [cit. 25.12.2020]. Dostupné z URL:  
<<https://www.qviindia.com/Assets/uploads/files/OGP/TriangulationSensors.pdf>>.
- [12] TEXAS INSTRUMENTS: *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART)* [online]. ti.com, listopad 2010, [cit. 25.12.2020]. Dostupné z URL:  
<[https://www.ti.com/lit/ug/sprugp1/sprugp1.pdf?ts=1609677946200&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ug/sprugp1/sprugp1.pdf?ts=1609677946200&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)>.
- [13] Datasheed *ATxmega128A4U / ATxmega64A4U / ATxmega32A4U / ATxmega16A4U* [online]. microchip.com, září 2014, [cit. 26. 12. 2020]. Dostupné z URL:  
<[http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-8387-8-and16-bit-avr-microcontroller-xmega-a4u\\_datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-8387-8-and16-bit-avr-microcontroller-xmega-a4u_datasheet.pdf)>.
- [14] Datasheed *DRV8874* [online]. ti.com, prosinec 2019, [cit. 26. 12. 2020]. Dostupné z URL:  
<[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8874.pdf?ts=1609005791725&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8874.pdf?ts=1609005791725&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)>.
- [15] Datasheed *TPS54302* [online]. ti.com, květen 2016, [cit. 26. 12. 2020]. Dostupné z URL:  
<[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps54302.pdf?ts=1609326202433&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F&fbclid=IwAR3jRsJZwtkHPx\\_K2YXSvM750QVmu0apfgm36tw42IhzuHdF0Mz6dEydrScF](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps54302.pdf?ts=1609326202433&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F&fbclid=IwAR3jRsJZwtkHPx_K2YXSvM750QVmu0apfgm36tw42IhzuHdF0Mz6dEydrScF)>.
- [16] Datasheed *LM1117* [online]. ti.com, leden 2020, [cit. 26. 12. 2020]. Dostupné z URL:  
<[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1117.pdf?ts=1609312461219&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252FF](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1117.pdf?ts=1609312461219&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252FF)>.

- [17] Datasheed *GP2Y0A21YK* [online]. global.sharp, prosinec 2020, [cit. 27. 12. 2020]. Dostupné z URL:  
<[https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk\\_e.pdf](https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf)>.
- [18] Datasheed *QRE1113, QRE1113GR, QRE1114GR* [online]. Semiconductor Components Industries, únor 2020, [cit. 27. 12. 2020]. Dostupné z URL:  
<<https://www.onsemi.com/pub/Collateral/QRE1113-D.PDF>>.
- [19] EletronicsTutorials: *DC motors* [online]. electronics-tutorials.ws, květen 2019, [cit. 27. 12. 2020]. Dostupné z URL:  
<[https://www.electronics-tutorials.ws/io/io\\_7.html](https://www.electronics-tutorials.ws/io/io_7.html)>.
- [20] MCU on Eclipse: *Mini Sumo Robot Competition running with FRDM-KL25Z* [online]. mcuoneclipse.com, září 2013, [cit. 27. 12. 2020]. Dostupné z URL:  
<<https://mcuoneclipse.com/2013/09/03/mini-sumo-robot-competition-running-wit>>.
- [21] SCHWEBOR, Bill: *How to Accurately Sense Temperature Using Thermistors* [online], [cit. 28. 12. 2020]. digikey.fr, duben 2020. Dostupné z URL:  
<<https://www.digikey.fr/en/articles/how-to-accurately-sense-temperature-usin>>.
- [22] CIRCUIT TODAYS: *Optocoupler devices and application* [online]. circuitstoday.com, září 2009, [cit. 28. 12. 2020]. Dostupné z URL:  
<<https://www.circuitstoday.com/optocoupler-devices-and-application>>.
- [23] VOJÁČEK, Antonín: *Princip laserových snímačů vzdálenosti s triangulačním principem měření* [online]. automatizace.hw.cz, 13. červenec 2015, [cit. 28. 12. 2020]. Dostupné z URL:  
<<https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/princip-funkce-laserovych-snimacu-vzdalenosti-s-triangulacnim-principem-mereni.html>>.
- [24] Cburnett: *Serial Peripheral Interface* [online]. cs.wikipedia.org, 19. prosince 2006, [cit. 29. 12. 2020]. Dostupné z URL:  
<[https://cs.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Peripheral\\_Interface#/media/Soubor:SPI\\_three\\_slaves.svg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface#/media/Soubor:SPI_three_slaves.svg)>.
- [25] TWILIO: *UART Explained* [online]. developer.electricimp.com, 2020, [cit. 29. 12. 2020]. Dostupné z URL:  
<<https://developer.electricimp.com/resources/uart>>.

# Seznam symbolů a zkratek

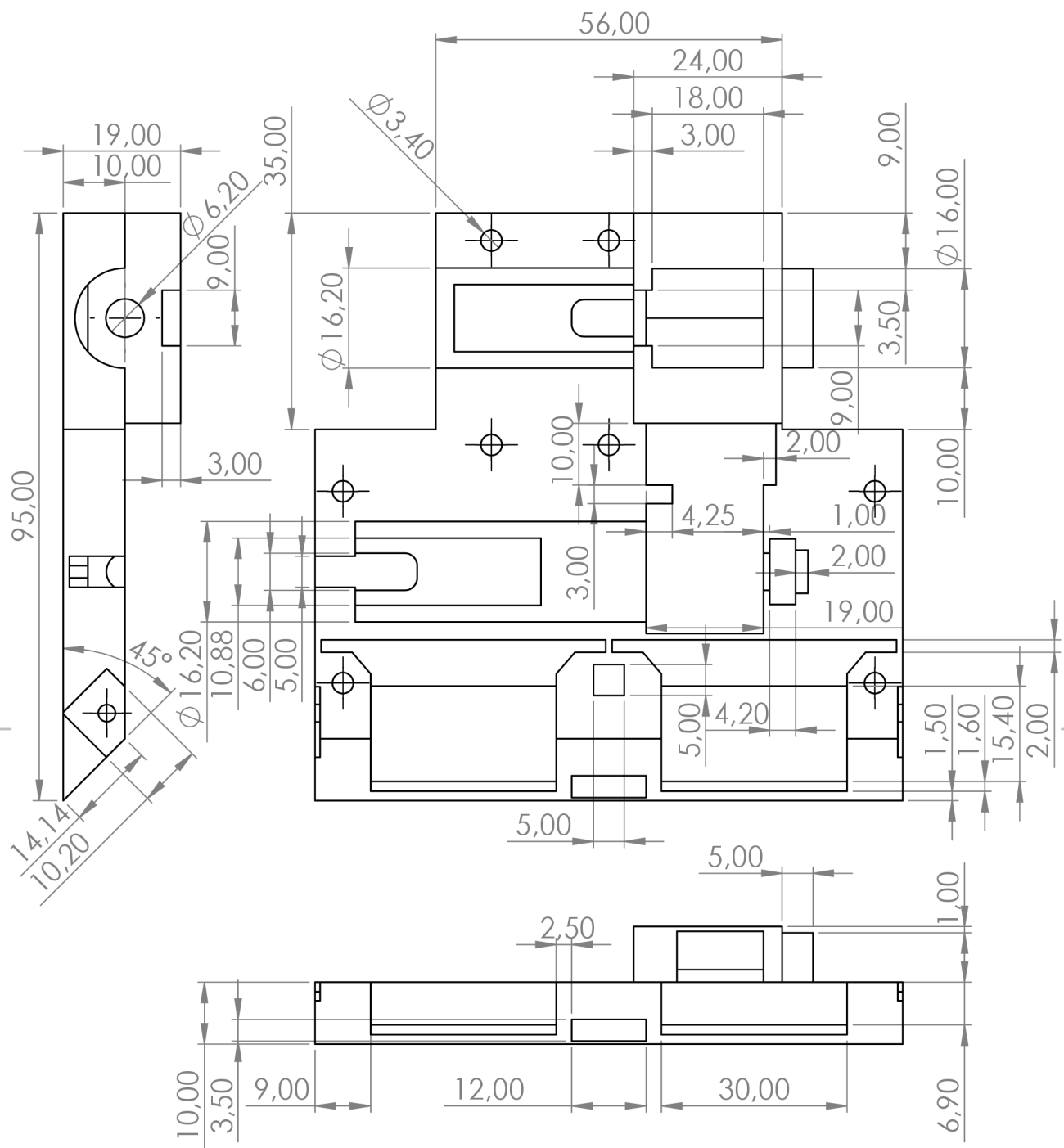
<b>3D</b>	třídimenzionální
<b>ABS</b>	akrylonitrilbutadienstyren
<b>A/D</b>	analogově digitální převodník
<b>BLDC</b>	bezkartáčový stejnosměrný motor – Brushless DC electric motor
<b>CPU</b>	centrální procesorová jednotka – Central Processing Unit
<b>ČR</b>	Česká republika
<b>D/A</b>	digitálně analogový převodník
<b>DC</b>	stejnosměrné napětí
<b>DFU</b>	aktualizace firmwaru zařízení – Device firmware upgrade
<b>DMA</b>	Direct Memory Access
<b>DPS</b>	deska plošných spojů
<b>EEPROM</b>	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
<b>ESR</b>	zdánlivý odpor – Equivalent series resistance
<b>Hi-Z</b>	stav vysoké impedance
<b>I<sup>2</sup>C</b>	Inter-Integrated Circuit
<b>IGBT</b>	bipolární tranzistor s izolovaným hradlem – Insulated Gate Bipolar Transistor
<b>I/O</b>	vstup/výstup – Input/Output
<b>IR</b>	infračervené záření – Infrared Radiation
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode
<b>NiMH</b>	nikl-metal hydridový
<b>Li-ion</b>	lithium-iontový
<b>Li-pol</b>	lithium-polymerový
<b>PETG</b>	polyetyléntereftalát – glykol

<b>PLA</b>	kyselina polymléčná
<b>PWM</b>	pulzně šířková modulace – Pulse Width Modulation
<b>RAM</b>	Random Access Memory
<b>ROM</b>	Read Only Memory
<b>SMD</b>	součástka pro povrchovou montáž – Surface Mount Device
<b>SPI</b>	Serial Peripheral Interface
<b>SRAM</b>	Static Random Access Memory
<b>RX</b>	Receive
<b>TC</b>	časovač/čítač – Timer/Counter
<b>THT</b>	klasická montáž – Through-Hole Technology
<b>ToF</b>	doba letu – Time of Flight
<b>TX</b>	Transmit
<b>UART</b>	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
<b>USART</b>	Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter

# Seznam příloh

<b>A</b>	<b>Výkresová dokumentace tištěných dílů</b>	<b>53</b>
<b>B</b>	<b>Schema zapojení</b>	<b>59</b>
<b>C</b>	<b>DPS</b>	<b>63</b>
C.1	Strana TOP . . . . .	63
C.2	Strana BOTTOM . . . . .	63
<b>D</b>	<b>Osazovací výkres</b>	<b>64</b>
D.1	Strana TOP . . . . .	64
<b>E</b>	<b>Seznam součástí</b>	<b>65</b>
<b>F</b>	<b>Obsah CD</b>	<b>66</b>

## **A Výkresová dokumentace tištěných děl**



POKUD NENÍ UVEDENO JINAK:  
 JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH  
 DRSNOST:  
 TOLERANCE:  
 LINEÁRNÍ:  
 ÚHLOVÁ:

OPRACOVÁNÍ:

ODSTRANIT  
 OSTRÉ HRANY

NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU

ZMĚNA

	JMÉNO	PODPIS	DATUM
NAVRHL			
PŘEZKOUSEL			
SCHVÁLIL			
VÝROBA			
Z. JAKOSTI			

NÁZEV:

MATERIÁL:

Č. VÝKRESU

spodni\_cast

A4

HMOTNOST:

MĚŘÍTKO: 1:1

LIST 1 Z 1 LISTŮ

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

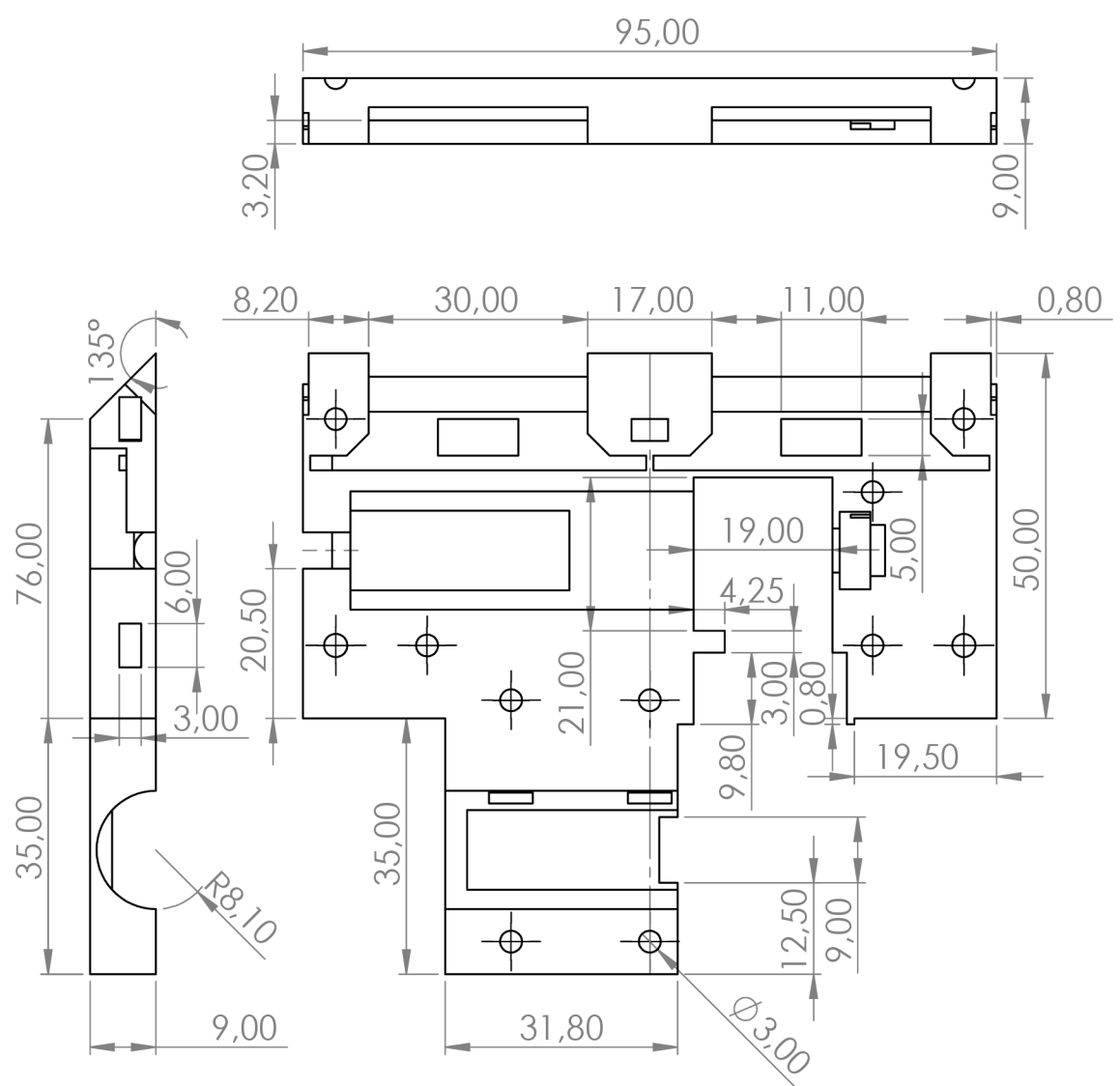
C

B

B

A

A



POKUD NENÍ UVEDENO JINAK:  
 JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH  
 DRSNOST:  
 TOLERANCE:  
 LINEÁRNÍ:  
 ÚHLOVÁ:

OPRACOVÁNÍ:

ODSTRANIT  
OSTŘÉ HRANY

NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU

ZMĚNA

	JMÉNO	PODPIS	DATUM
NAVRHL			
PŘEZKOUSEL			
SCHVÁLIL			
VÝROBA			
Z. JAKOSTI			

NÁZEV:

MATERIÁL:

Č. VÝKRESU

stredni\_cast

A4

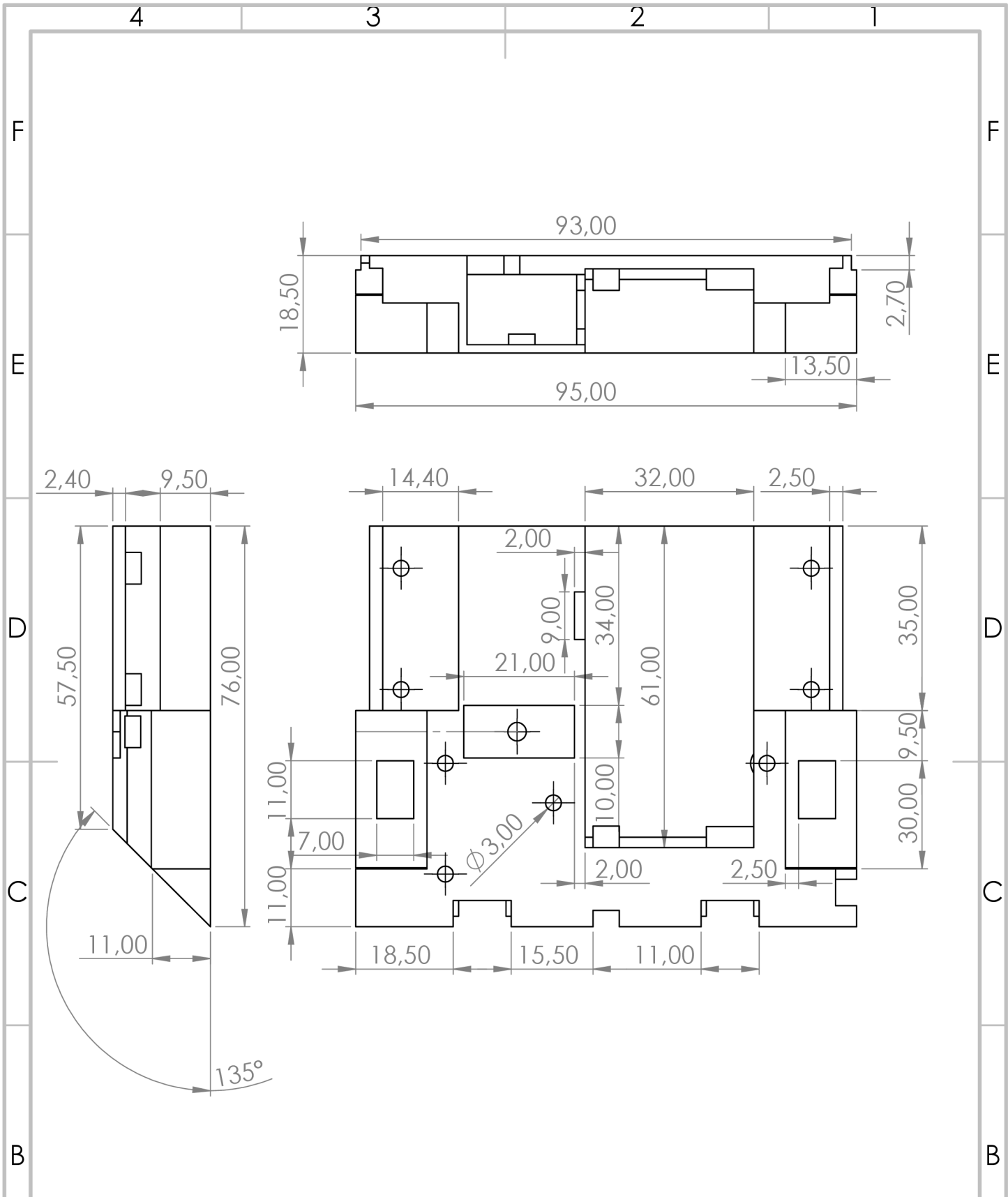
HMOTNOST:

MĚŘÍTKO: 1:1

LIST 1 Z 1 LISTŮ

4 3 2 1





POKUD NENÍ UVEDENO JINAK:  
 JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH  
 DRSNOST:  
 TOLERANCE:  
 LINEÁRNÍ:  
 ÚHLOVÁ:

OPRACOVÁNÍ:

ODSTRANIT  
 OSTRÉ HRANY

NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU

ZMĚNA

	JMÉNO	PODPIS	DATUM
NAVRHL			
PŘEZKOUŠEL			
SCHVÁLIL			
VÝROBA			
Z. JAKOSTI			

NÁZEV:

MATERIÁL:

Č. VÝKRESU

**vrchni\_cast**

A4

HMOTNOST:

MĚŘÍTKO: 1:1

LIST 1 Z 1 LISTŮ

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

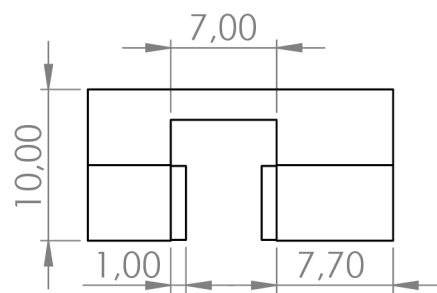
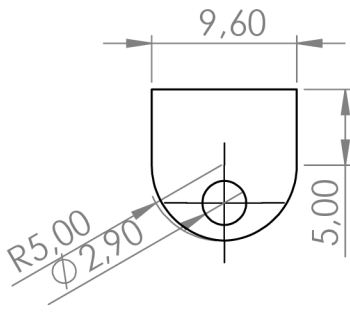
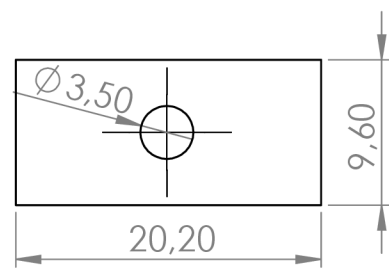
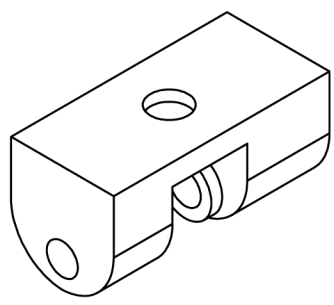
C

B

B

A

A



POKUD NENÍ UVEDENO JINAK:  
 JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH  
 DRSNOST:  
 TOLERANCE:  
 LINEÁRNÍ:  
 ÚHLOVÁ:

OPRACOVÁNÍ:

ODSTRANIT  
OSTŘÉ HRANY

NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU

ZMĚNA

	JMÉNO	PODPIS	DATUM
NAVRHL			
PŘEZKOUŠEL			
SCHVÁLIL			
VÝROBA			
Z. JAKOSTI			

NÁZEV:  
  
 Č. VÝKRESU  
**napinaci\_kladka** A4  
 MĚŘÍTKO:2:1  
 LIST 1 Z 1 LISTŮ

4 3 2 1

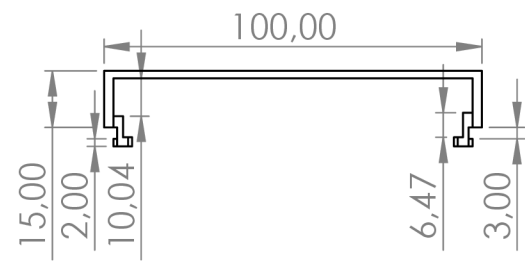
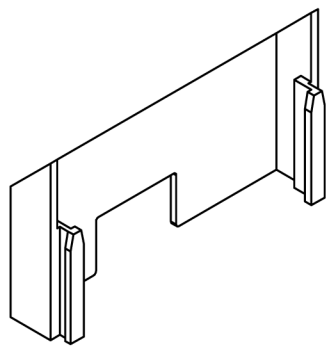
4 3 2 1

F

F

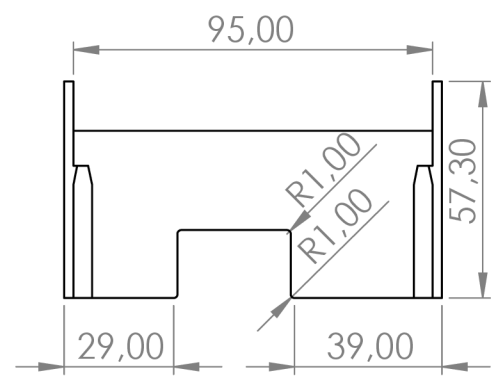
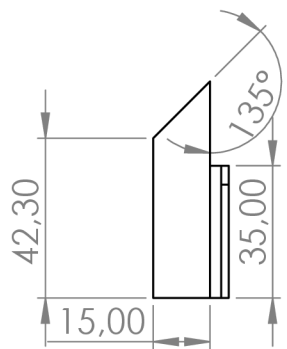
E

E



D

D



C

C

B

B

POKUD NENÍ UVEDENO JINAK:  
 JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH  
 DRSNOST:  
 TOLERANCE:  
 LINEÁRNÍ:  
 ÚHLOVÁ:

OPRACOVÁNÍ:

ODSTRANIT  
OSTŘE HRANY

NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU

ZMĚNA

	JMÉNO	PODPIS	DATUM
NAVRHL			
PŘEZKOUSĚL			
SCHVÁLIL			
VÝROBA			
Z. JAKOSTI			

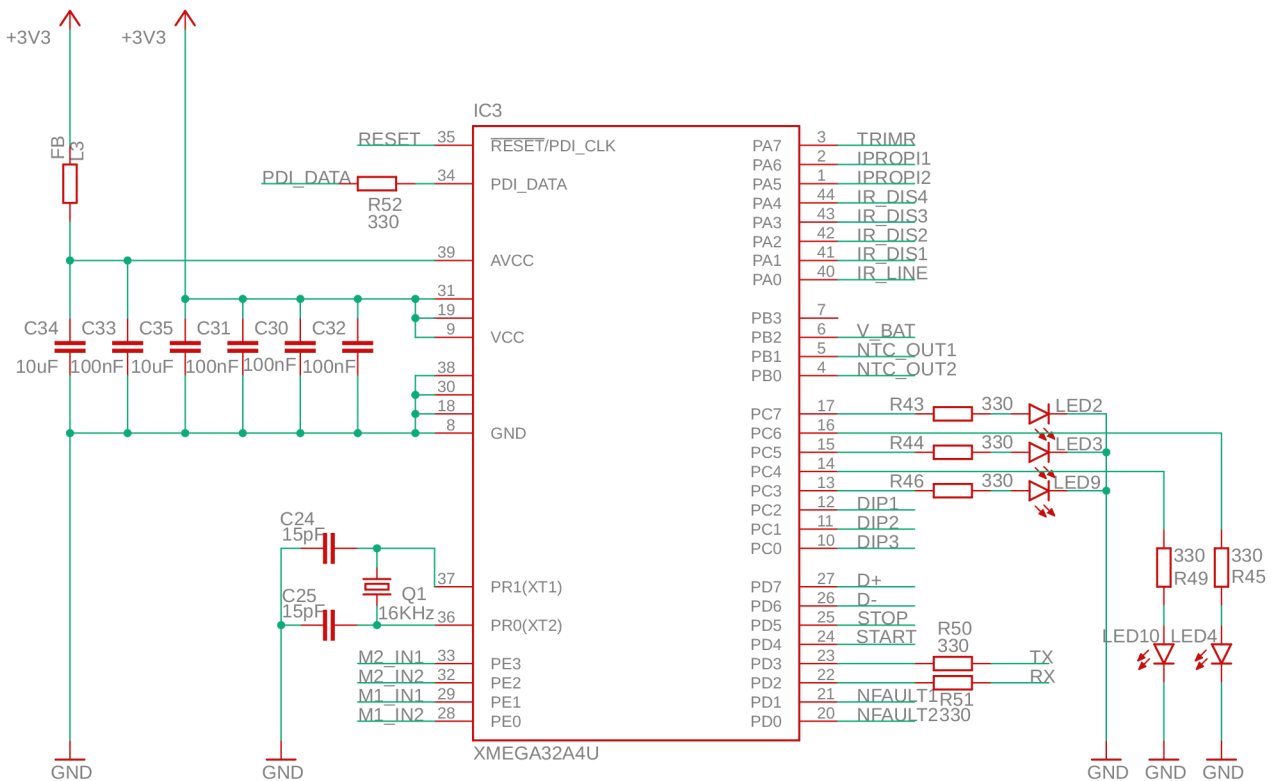
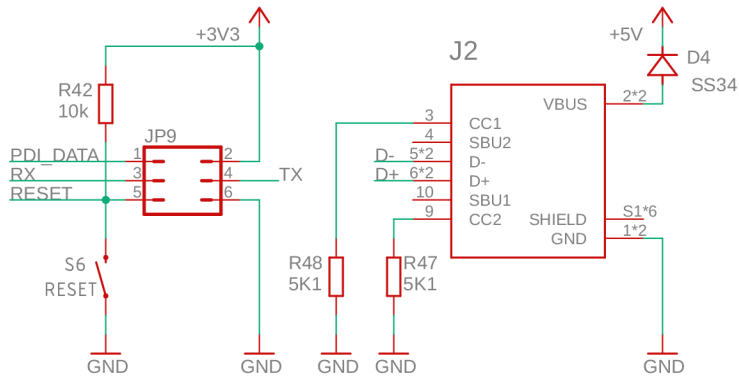
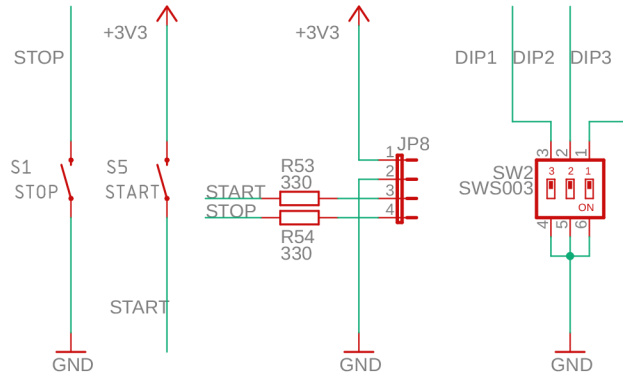
NÁZEV:	<b>kryt</b>	A4
Č. VÝKRESU		
MĚŘÍTKO: 1:2	LIST 1 Z 1 LISTŮ	

A

A

4 3 2 1

## **B Schema zapojení**



AVR, programming and debug ports, user interface

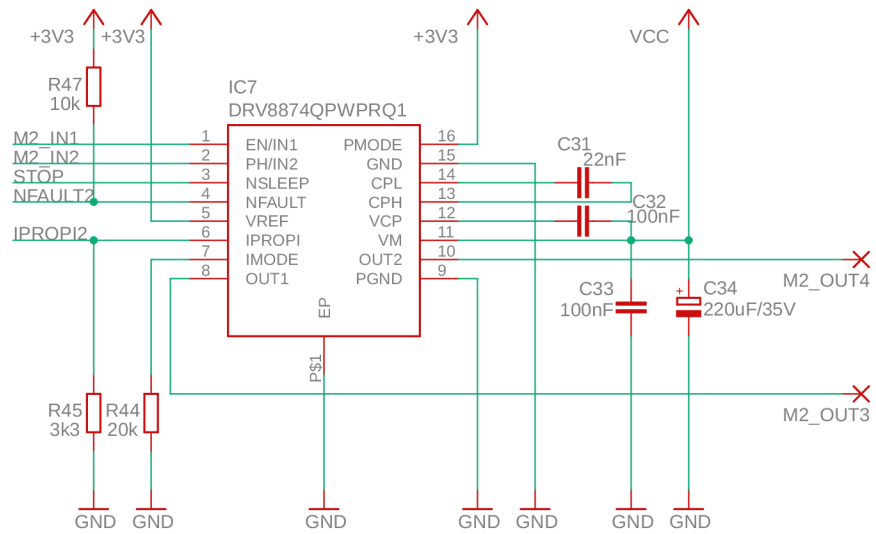
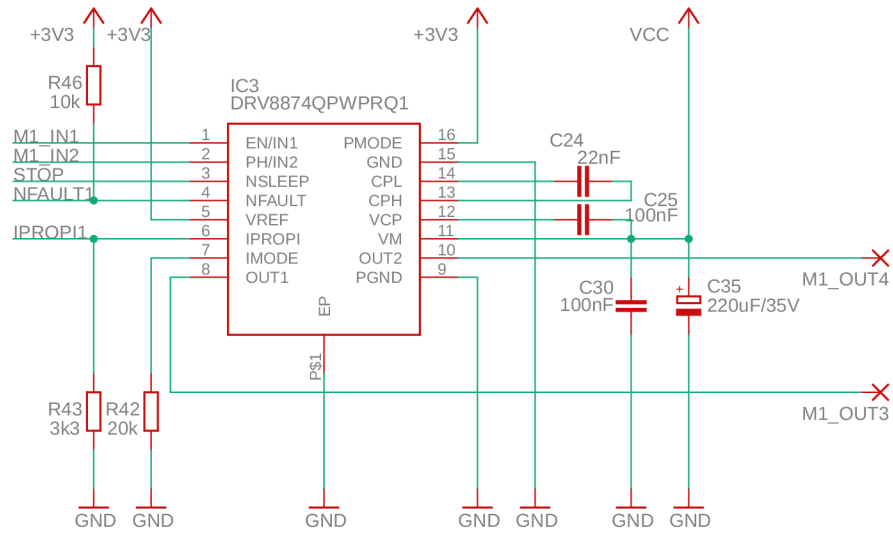
TITLE:MINISUMO\_BOARD

Document Number:1

REV:  
v1.0

Date: 15.05.2021 10:14

Sheet:1/3



### Motor drivers

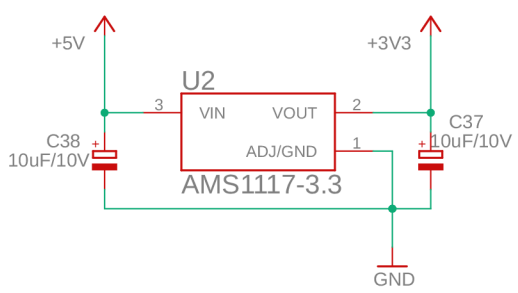
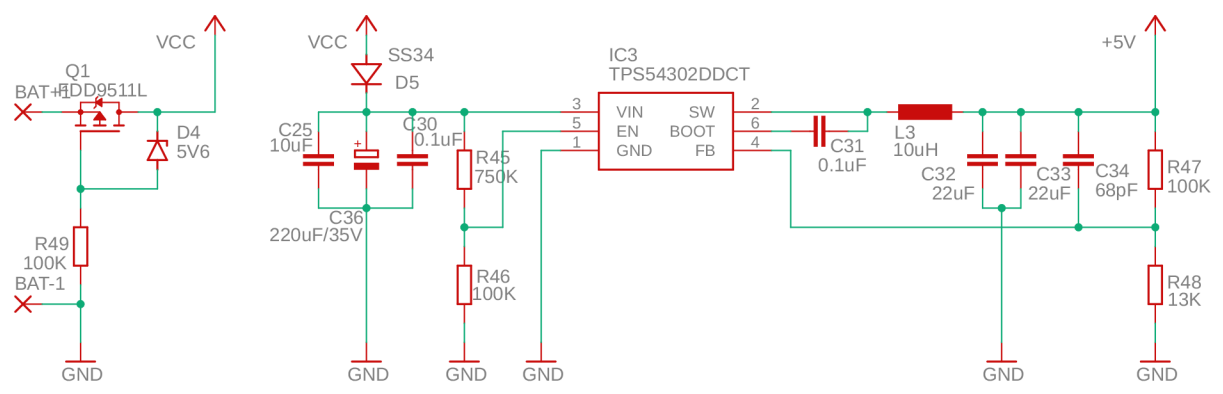
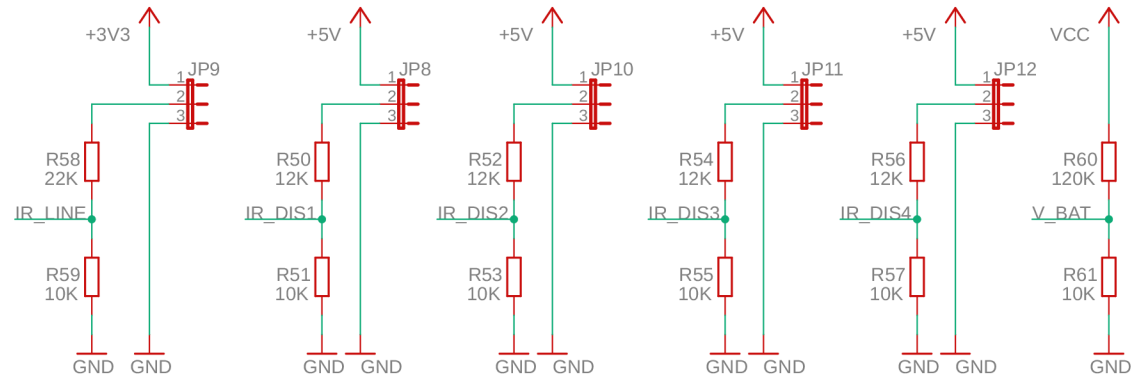
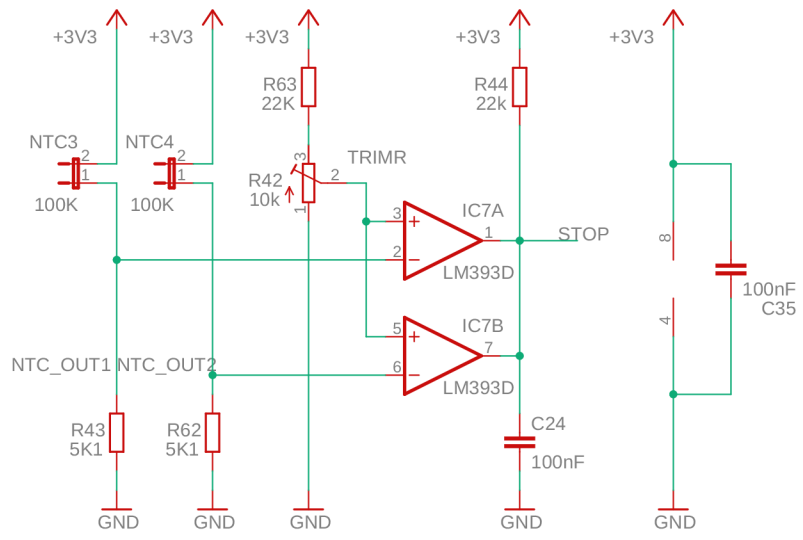
TITLE:MINISUMO\_BOARD

Document Number:2

REV:  
v1.0

Date: 15.05.2021 10:18

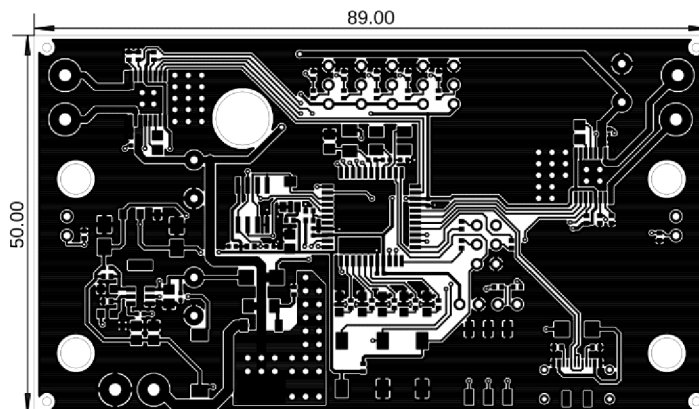
Sheet:2/3



Power, sensors	
TITLE:MINISUMO_BOARD	
Document Number: 3	REV: v1.0
Date: 15.05.2021 10:23	Sheet:3/3

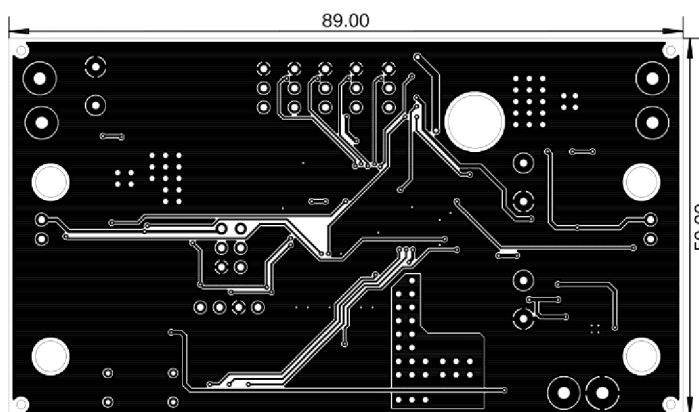
## C DPS

### C.1 Strana TOP



Obr. C.1: Předloha pro DPS - strana TOP

### C.2 Strana BOTTOM

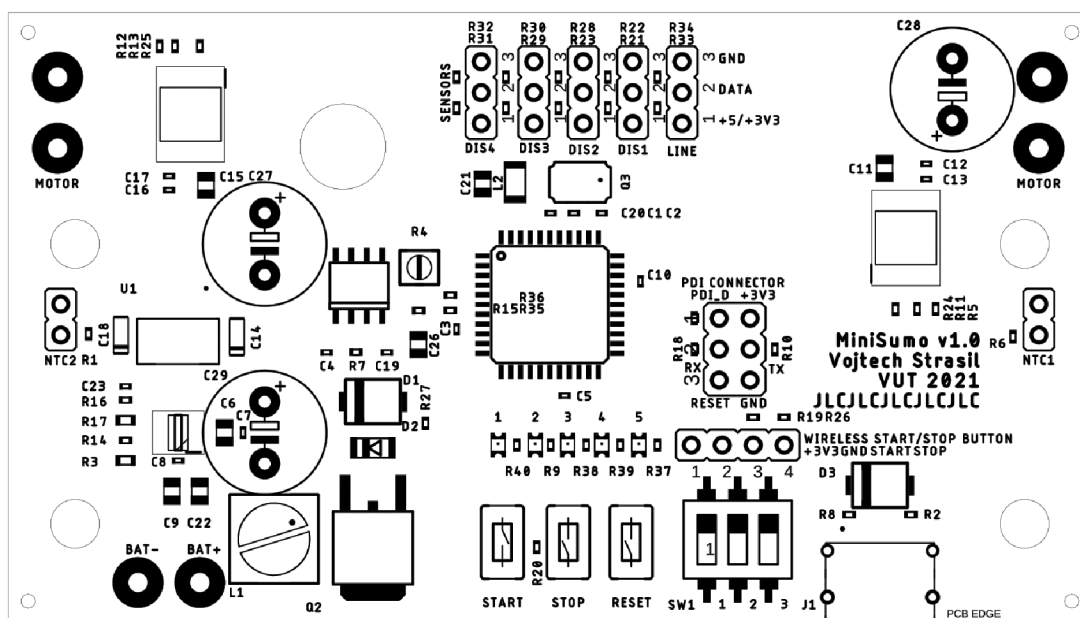


Obr. C.2: Předloha pro DPS - strana BOTTOM



# D Osazovací výkres

## D.1 Strana TOP



Obr. D.1: Osazovací výkres - strana TOP

## E Seznam součástek

Part	Value	Package
C7 C8	0.1uF	0402
R11 R13	3k3	0402
R1 R2 R6 R8	5K1	0402
D2	5V6	SOD80C
R22 R28 R30 R32 R34 R36	10K	0402
R4	10k	RTRIM3202
R20 R24 R25	10k	0402
C6 C21 C26	10uF	0805
C14 C18	10uF/10V	A/3216-18W
L1	10uH	PIS2816
R21 R23 R29 R31	12K	0402
R17	13K	0603
C1 C2	15pF	0402
Q3	16KHz	CTS406
R5 R12	20k	0402
R15 R33	22K	0402
R7	22k	0402
C11 C15	22nF	0805
C9 C22	22uF	0805
C23	68pF	0402
R14 R16 R27	100K	0402
C3 C4 C5 C10 C12 C13 C16 C17 C19 C20	100nF	0402
R35	120K	0402
R9 R10 R18 R19 R26 R37 R38 R39 R40 R41	330	0402
R3	750K	0603
U1	AMS1117-3.3	SOT229P700X180-4N
IC4 IC5	DRV8874QPWPRQ1	SOP65P640X120-17N
J1	DX07S016JA1R1500	JAE_DX07S016JA1R1500
L2	FB	1206
Q2	FDD9511L	TO252
IC1	LM393D	SO08
S4	RESET	TACTILE_SWITCH_SMD_6.0X3.5MM
D1 D3	SS34	SMA
S3	START	TACTILE_SWITCH_SMD_6.0X3.5MM
S2	STOP	TACTILE_SWITCH_SMD_6.0X3.5MM
SW1	SWS003	SMS-003
IC6	TPS54302DDCT	SOT95P280X110-6N
IC2	XMEGA32A4U	TQFP44
LED1 LED5 LED6 LED7 LED8	ZEL	0805

Obr. E.1: Seznam součástek

## **F Obsah CD**

Na přiloženém CD se nachází elektronická podoba této práce. Přiložený disk dále obsahuje tyto soubory:

- 3D návrh robota
- Schéma zapojení
- Návrh DPS
- Osazovací výkres
- Seznam součástí
- Zdrojový kód