

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektromagnetického pole

## Dálkové optické ovládání elektromobilu

Ladislav Knotek

vedoucí práce: ing. Lubor Jirásek, CSc

Obor: Komunikační technika

studijní program: Komunikace, multimedia a elektronika

Leden 2018



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Knotek** Jméno: **Ladislav** Osobní číslo: **439569**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektromagnetického pole**  
Studijní program: **Komunikace, multimédia a elektronika**  
Studijní obor: **Komunikační technika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Dálkové optické ovládání elektromobilu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Optical Remote Control for Model of Electric Car**

Pokyny pro vypracování:

1. Prostudujte dostupnou literaturu týkající možnosti dálkového optického ovládání přístrojů a komunikace s nimi pomocí optické trasy.
2. Na základu 1) navrhnete a realizujete jednotku pro dálkové ovládání modelu elektromobilu.
3. Při návrhu zvolte modulární koncepci zařízení (jak HW, tak i SW) i s ohledem na demonstraci procesů řízení.
4. Navažte na práci Vašich předchůdců tj. na konstrukci modelu automobilu.
5. Proveďte ověřovací měření.
6. Zhodnoťte dosažené výsledky.
7. Na základu zhodnocení doporučte budoucí možná řešení.
6. Realizovaný přístroj zůstane v majetku finančního sponzora a zadavatele diplomové práce, tj. katedry mikroelektroniky ČVUT FEL.
7. Publikování výsledků dosažených v této práci je možné pouze se svolením zadavatele.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Majer, M.: Diplomová práce. ČVUT FEL, Praha 2010  
[2] www.microchip.com

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Lubor Jirásek, CSc., katedra mikroelektroniky FEL**

Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **20.02.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **09.01.2018**

Platnost zadání bakalářské práce:

**do konce letního semestru 2018/2019**

Ing. Lubor Jirásek, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
podpis děkana(ky)

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Poděkování

Děkuji panu inženýru Jiráskovi za podnětné nápady, metodické vedení a stálou ochotu pomoci s výrobou. Taktéž děkuji rodičům za podporu ve studiu a celé rodině za toleranci pracovního nepořádku. Rád bych poděkoval i kolegům Václavu Hejnému a Michalu Fuxovi za cenné kulturní rady a typy.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

V Praze, 11. ledna 2018

## Abstrakt

Práce se zabývá návrhem optického dálkového komunikačního systému pro ovládání elektromobilu. Je rozdělená na tři hlavní části. První část rozebírá mechanickou konstrukci zařízení, druhá elektronický návrh komunikačních jednotek a třetí softwarové řešení na řídicích mikrokontrolérech.

### **Klíčová slova:**

**vedoucí práce:** ing. Lubor Jirásek, CSc

## Abstract

The thesis deals with the design of optical communication system for controlling an electric car. It is divided into three parts. The first part deals with the mechanical construction of the device, the second one deals with the electronic desing of the communication units and the third one is concerned about the software solution on the controlling microcontrolers.

### **Keywords:**

## Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>	4.2.1 Zpracování signálu na otočné části . . . . .	13
<b>2 Základní koncept řešení optické komunikace</b>	<b>3</b>	4.2.2 Zpracování signálu na jednotce ovladače . . . . .	19
2.1 Návaznost na minulou práci . . . . .	3	4.2.3 Vysílání optického signálu . . . . .	20
2.2 Rozdíly ve způsobu řešení . . . . .	3	4.2.4 Komunikace mezi pevnou a otočnou částí . . . . .	20
2.3 Blokový návrh komunikačního systému . . . . .	4	4.2.5 Řízení motorků na otočné části	22
<b>3 Mechanická část</b>	<b>7</b>	4.2.6 Interakce s uživatelem . . . . .	24
3.1 Otáčení v horizontální rovině . . . . .	7	4.2.7 Komunikační jednotky . . . . .	25
3.2 Otáčení ve vertikální rovině . . . . .	8	<b>5 Softwarová část</b>	<b>31</b>
<b>4 Elektronická část</b>	<b>11</b>	5.1 Ovladač . . . . .	31
4.1 Detekce signálu na otočné části . . . . .	11	5.2 Otočná část . . . . .	32
4.1.1 Rozpoznání směru příchozího signálu . . . . .	11	5.3 Pevná část . . . . .	32
4.1.2 Rozdělení paraboly . . . . .	12	<b>6 Testování zařízení</b>	<b>35</b>
4.1.3 Optimální pozice fotodiod . . . . .	13	<b>7 Závěr</b>	<b>37</b>
4.2 Komunikace mezi jednotkou na vozidle a ovladačem . . . . .	13	<b>A Literatura</b>	<b>39</b>
		<b>B Desky plošných spojů</b>	<b>41</b>
		<b>C Fotky zařízení</b>	<b>45</b>

## Obrázky

2.1 Základní blokové schéma komunikační soustavy .....	5	4.12 H-můstek s unipolárními tranzistory .....	24
3.1 Převodová mechanika .....	8	4.13 Invertor .....	24
3.2 Mechanika na pohyb ve vertikální rovině .....	9	4.14 Zapojení LCD .....	25
4.1 Rozdělení paraboly .....	12	4.15 Schéma obvodu ovladače .....	26
4.2 Blokové schéma zesilovače .....	14	4.16 Schéma obvodu na otočné části	27
4.3 MOSFET jako proměnný odpor	15	4.17 Schéma obvodu pevné části ...	29
4.4 Proměnný zisk, spínané MOSFETy .....	15	B.1 Plošný spoj na ovladači. Top. ...	41
4.5 Zesilovač i/u s proměnným ziskem	16	B.2 Plošný spoj na ovladači. Bottom.	42
4.6 Klopné napětí komparátoru ....	18	B.3 Plošný spoj na otočné části. Top.	42
4.7 Konečné schéma zesilovače .....	19	B.4 Plošný spoj na otočné části. Bottom. ....	43
4.8 Přijímací obvod na ovladači ....	19	B.5 Plošný spoj na pevné části. ....	43
4.9 Vysílací obvod .....	20	C.1 Jednotka ovladače .....	45
4.10 Optická spojka .....	22	C.2 Otočná část s přijímací parabolou. ....	46
4.11 H-můstek s bipolárními tranzistory .....	23	C.3 Soustava převodových koleček pro otáčení paraboly .....	46
		C.4 Pevně uchycené kolečko pro otáčení paraboly, napájení .....	47





# Kapitola 1

## Úvod

Optická komunikace nachází využití v nejrůznějších oblastech elektronického světa. K nejznámějšímu patří dálkové ovládání televize, ale i jiných spotřebičů, jako je například dataprojektor. Dalším známým optickým komunikátorem je infraport, který dříve obsahoval téměř každý mobilní telefon. V této oblasti byl již nahrazen praktičtějším bluetoothem. K moderní době určitě patří například přenos internetu pomocí světelného laseru. Existují dokonce projekty, kde takto přijímá internet dron, který pak následně v místní lokaci vysílá rádiově. K výhodám optické komunikace patří určitě rychlost, ale také nezávislost na ostatních optických vysílačích, neboť optická cesta probíhá zpravidla přímou trajektorií mezi body A a B. Tedy zde nedochází k takovému rušení, jako třeba v radiových oblastech. Přímá cesta sebou nese přirozeně nevýhody, neboť stačí jakýkoliv opticky neprůsvitný objekt objevivší se v trajektorii a komunikace je narušena. Vzhledem ke kmitotu optického záření, je většina hmotných věcí navíc neprůhledná.

Cílem práce je zprovoznit optické dálkové ovládání elektromobilu. Tato práce již byla na fakultě jednou vytvořena kolegou Majerem. Nicméně koncept řešení nebyl v dílčích částech návrhu ideální a proto bylo toto téma vypsáno znovu. Při návrhu tedy vycházíme zejména z tohoto prvního řešení. To, co fungovalo dobře, je dobré zachovat, nebo se tím alespoň v návrhu inspirovat. Naopak věci, které nefungovaly podle představ se pokusíme řešit jiným, lepším způsobem. Základní koncept komunikačního systému zůstane zachován, ale jednotlivé části se budou řešit od základu samostatně. ...



## Kapitola 2

### Základní koncept řešení optické komunikace

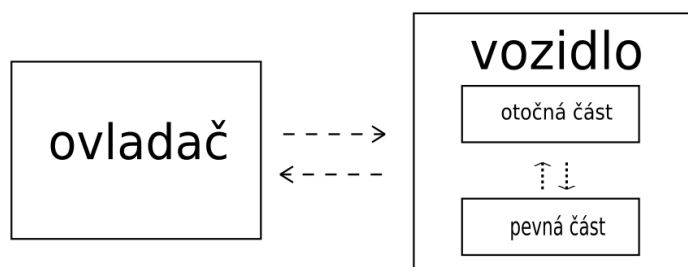
#### 2.1 Návaznost na minulou práci

Princip základního návrhu optických komunikačních jednotek zůstane stejný jako v původní práci. Komunikace bude probíhat infračerveným zářením a bude obousměrná. Jednotka na vozidle by měla umět posílat nazpět ovladači informace o svém stavu. Například o rychlosti pohybu, nebo stavu baterek. Návrh by měl počítat s možným budoucím rozšířením, například o senzory překážek, nebo o senzory teploty na motorkách vozidla. Zůstane také princip příjmu signálu na vozidle. Jedná se o parabolu, která je schopná se otáčet za příchozím signálem. Komunikace mezi otáčecí paraboulou a řídicí jednotkou na vozidle probíhá také opticky, pomocí takzvané optické spojky. I tento princip zůstane pravděpodobně podobný. V něčem je ale záhodno udělat změnu.

#### 2.2 Rozdíly ve způsobu řešení

První zásadní rozdíl bude ovšem ve způsobu zesílení řídicího signálu. V původní práci jsou jako optické přijímače využity obvody TSOP, které se mimo jiné používají například v televizích. Parabola je rozdělena na čtyři sektory a v každém se nachází jeden přijímač TSOP. Porovnáním intenzity





**Obrázek 2.1:** Základní blokové schéma komunikační soustavy

V dalších kapitolách bude řešení podrobněji rozebíráno a to z hlediska mechanického, elektronického a softwarového.



# Kapitola 3

## Mechanická část

Mechanické ústrojí na mobilním vozidle musí umožňovat nasměrování paraboly směrem k uživateli. Předpokládá se, že uživatel s bude držet ovladač nad úrovní vozidla, což vymezuje úhel, kam by měla být parabola schopná směřovat na polokouli. Posun je řešen nezávisle v horizontální a vertikální rovině. Napájení otočné části je řešeno pomocí třecích kontaktů.

### 3.1 Otáčení v horizontální rovině

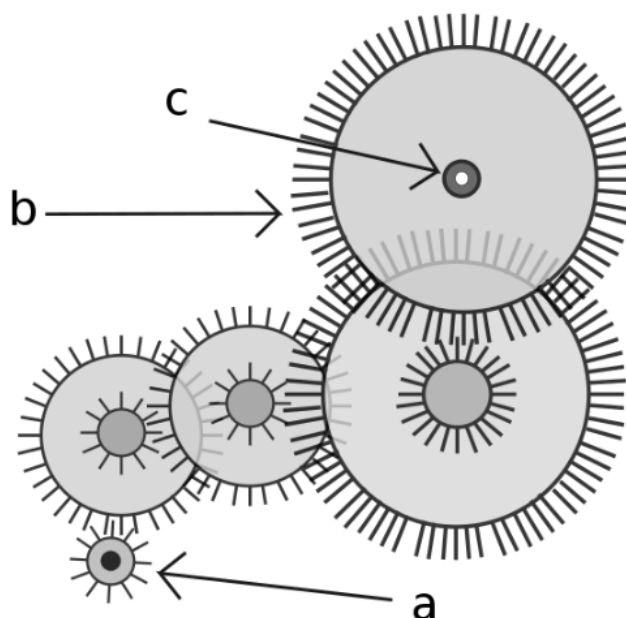
Při uvažování způsobu otáčení v horizontální rovině je třeba pamatovat na to, aby byla zajištěná komunikace mezi otočnou a pevnou částí komunikačních jednotek na vozidle. Tato komunikace bude popsána blíže později, nicméně je třeba, aby bylo možné skrz osu otáčení realizovat díru.

Byly uvažované dva návrhy.

Jako nejvhodnější na tuto aplikaci se jeví určitě krokový motorek, skrz jehož osu by se provrtala díra. Jeho ovládání by nebylo složité a parabola by mířila přesně tam, kam bychom chtěli. Toto řešení má ovšem dvě nevýhody. První nevýhodou je velká spotřeba, jelikož by bylo třeba proudu i pro pouhé udržení motorku ve stejné pozici. Druhou nevýhodou je cena.

S ohledem na tyto nevýhody byl vymyšlen druhý a nakonec použitý návrh.

Zde je na otáčení použit klasický DC motorek, jehož otáčky jsou redukovány převodovými kolečky. Motorek je umístěn na otočné části a na jeho hřídeli je převodové kolečko (a). Pomocí další soustavy převodových koleček se celá konstrukce otáčí kolem jednoho na pevně umístěného převodového kolečka (b). V ose otáčení (c) je šroub, ve kterém je provrtaná komunikační díra.



**Obrázek 3.1:** Převodová mechanika

### 3.2 Otáčení ve vertikální rovině

Předpokládá se, že parabola se v horizontální rovině může bez omezení otáčet dokola. Proto nám v rovině vertikální stačí rozsah pohybu devadesát stupňů.

Bylo zvažováno několik řešení

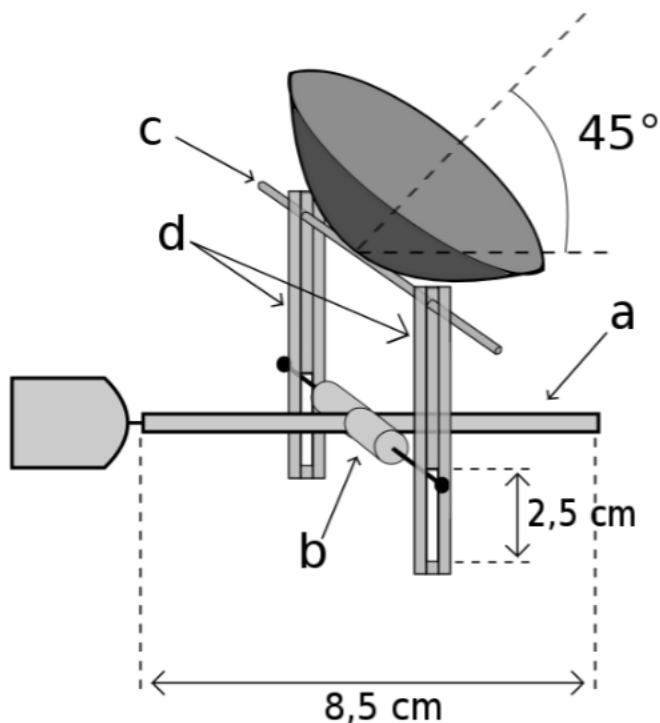
První řešení pro posuv ve vertikální rovině které se nabízí, je stejné, jako bylo v původním návrhu. Jedná se o šroubovici, zde konkrétně byla použita šroubovice a jezdec z CD mechaniky. Tento pohyb jde snadno převést na posuv ve vertikální rovině a to za pomoci polopevného pantového kolena. Ovšem tento krokový motorek je poměrně slabý a bylo by těžké optimalizovat váhu pohyblivé části společně s převodem šroubovice tak, aby byl motorek



schopný parabolou hýbat a jezdec ze šroubovice nevyklouzával. Nicméně by to nejspíš bylo možné.

Dalším způsobem otáčení by mohl být takzvaný "jeřáb". Na hřídel DC motorku by se namotávala šňůra, která by vhodně tahala za parabolu připevněnou na otočné ose. Nabízelo by se jistě ještě více dalších možností, nicméně jako finální se zvolila varianta, fungující na podobném principu jako varianta první zmíněná.

Místo krokového motorku je zde použit DC motorek. Kvůli jeho otáčkám je nutné zajistit větší převod, který je realizován šroubem (a) na hřídeli, na kterém se při jeho otáčení pohybuje matka (b). V matce jsou upevněné dva hřebíčky, každý kouká na jednu stranu matky. Samotná parabola je umístěná na otáčivé ose (c), která je umístěná nad středem šroubu jímž otáčí motorek. Na každé straně osy je připevněn podlouhlý plíšek (d), který má na svém dolním konci podélnou díru. Do těchto dírek jsou zasunuty hřebíčky koukající z matky. Pohyb matky tak přejímají plíšky a s nimi i osa s parabolou. Když je matka ve středu šroubu, jsou hřebíčky na horním okraji díry, když je na okraji šroubu, hřebíčky jsou na dolním okraji díry. Rozměry celého zařízení jsou navrženy tak, aby se parabola byla schopná pohybovat ve vertikální rovině v úhlu 90 stupňů. Když je matka ve středu šroubu, míří parabola vzhůru v úhlu 45 stupňů.



Obrázek 3.2: Mechanika na pohyb ve vertikální rovině



## Kapitola 4

### Elektronická část

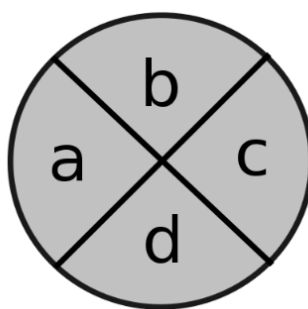
Tato kapitola nejprve pojednává o dílčích částech a jejich potenciálních řešeních. Z těch je posléze poskládán celek. Nejprve bude diskutována optická komunikace mezi vozidlem a ovladačem a následně přenos signálu mezi pevnou a otočnou částí. Pak bude popsán způsob řízení motorků pro otáčení paraboly a nakonec bude řešen způsob interakce ovladače s uživatelem.

#### 4.1 Detekce signálu na otočné části

##### 4.1.1 Rozpoznání směru přichozího signálu

Pro další elektronický návrh je nejprve třeba uvažovat, jak se zaručí natočení přijímací paraboly na jednotku ovladače.

První možností je, že by vozidlo “vědělo”, jak se pohybuje vzhledem k ovladači a podle toho počítalo, jak má parabolou otáčet. Ovladač by tedy tím pádem také měl znát svůj pohyb, případně stát na místě. Na vozidle i na ovladači by se pro detekování pohybu mohli zabudovat příslušné senzory. Jednotka na vozidle by také mohla počítat svou pozici z pokynů od ovladače. Výhodou této metody by byla možnost využití televizního přijímače TSOP, s čímž by se pojil i dobrý dosah komunikace. [tso01] Dosahu by také přispěl zachovalý povrch celé paraboly, narozdíl od návrhu zmíněného níže. Na začátku



**Obrázek 4.1:** Rozdělení paraboly

každého ovládní by bylo patrně třeba komunikační jednotky kalibrovat. Tato metoda by pravděpodobně nebyla dostatečně přesná a byla by náročná na zprovoznění.

Jako lepší řešení se jeví schopnost přijímače detekovat směr příchozího signálu. Pokud bychom nechtěli parabolu rozdělovat na nezávislé sektory, bylo by třeba blíže prozkoumat, jak se v parabole odráží paprsky vychýlené od její osy. Tedy jakým způsobem se vychylují od ohniska. Při použití několika různě natočených detektorů, by se pak podle porovnání jednotlivých intenzit přijímaného signálu dalo jeho vychýlení spočítat. Výhodou této varianty je opět zachování čistého povrchu paraboly. Nevýhodou je nutnost rozpoznání intenzity příchozího signálu.

Poslední zde zmíněnou možností je rozdělení paraboly do několika nezávislých sektorů. Porovnáním intenzity signálu v jednotlivých sektorech by se zjistilo vychýlení z ideálního namíření. Nevýhoda je opět potřeba rozpoznání intenzity a také drobné znehodnocení povrchu paraboly připevněním rozdělovacích stěn. Přes tyto nevýhody byla poslední varianta nakonec zvolena. Stejný princip se používal v původní práci.[Maj10]

#### ■ 4.1.2 Rozdělení paraboly

Vzhledem k nezávislému pohybu v horizontální a vertikální rovině, byla parabola rozdělena do čtyř stejných sektorů. Porovnáním úrovně signálu v protilehlých sektorech se tak určí výchylka v horizontální (a,c) i vertikální (b,d) rovině. Je potřeba uvažovat, že s rostoucí vzdáleností mezi ovladačem a vozidlem brání dělicí stěny v průniku signálu do špatného sektoru méně. Proto musí být dostatečně vysoké. Stejně rozdělení paraboly bylo i v původním návrhu zařízení. [Maj10]

### ■ 4.1.3 Optimální pozice fotodiody

Jako detektory optického signálu budou použity PIN fotodiody BPV10NF s největší citlivostí na vlnové délce 940 nm. [61005] Diody je samozřejmě třeba umístit do ohniska. Odtud je pak nutno volit správné natočení do příslušného sektoru tak, aby přijímala co nejvíce signálu. Předpokládáme příchozí signál přicházející rovnoběžně s osou paraboly a tudíž směřování všech paprsků směrem do ohniska. Úhel optimálního natočení by se jistě dal spočítat, nicméně vzhledem k rozměrům LED a paraboly postačí nasměrovat od oka LED tak, aby kumulovala co nejvíce odraženého signálu.

## ■ 4.2 Komunikace mezi jednotkou na vozidle a ovladačem

### ■ 4.2.1 Zpracování signálu na otočné části

Nyní je třeba diskutovat formát vysílaného signálu a návrh příslušného zesilovače pro jednotlivé fotodiody v parabole. Vzhledem k přítomnosti nízkofrekvenčního infračerveného záření ze slunce a jiných případných zdrojů, je třeba signál modulovat.

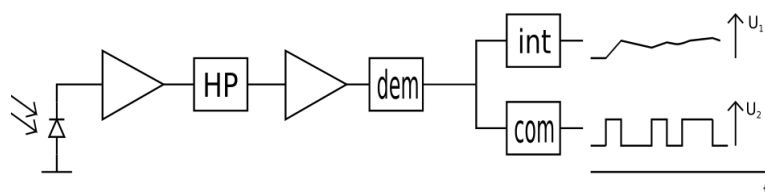
### ■ Požadavky na zesilovač

Na základě předchozích úvah by měl zesilovač splňovat následující parametry.

1. Oddělené stejnosměrné a nízkofrekvenční parazitní infračervené záření.
2. Schopnost přijímat signál z velké i malé vzdálenosti. Tedy dostatečný dynamický rozsah.
3. V průběhu zesílení indikovat úroveň signálu.
4. Demodulace zesíleného signálu.

5. Možnost vyrobit čtyři takové zesilovače se zanedbatelnými rozdíly.

Dle vypsáných požadavků lze sestavit základní blokové schéma kýženého zesilovače. Při návrhu je určitě vhodné se inspirovat například konstrukcí přijímače TSOP. [tso01] [ir13]



**Obrázek 4.2:** Blokové schéma zesilovače

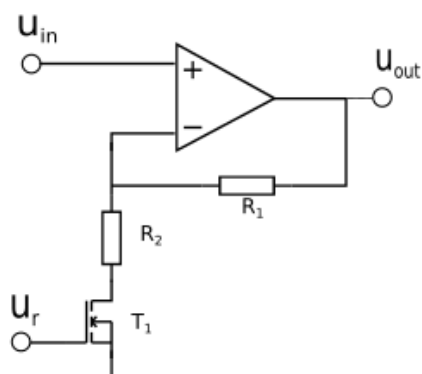
Pro oddělení parazitního záření postačí obyčejná horní propust. Experimentálně bylo vyzkoušeno, že před filtrováním je třeba indikovaný proud nejprve alespoň trochu zesílit. Po filtrování je vhodné signál opět zesílit a rozdělit do dvou nezávislých větví. Jedna z nich půjde do komparátoru, na jehož výstupu budou logické hodnoty. Ve druhé větvi se bude signál integrovat dolní propustí na DC složku pro zjištění intenzity příchozího signálu.

## ■ Proměnný zisk

Pro dosažení optimálních vlastností zesilovače co se dynamického rozsahu týče, se jako nejvhodnější varianta jeví zesílení s proměnným ziskem. [ir13] Bylo uvažováno a zkoušeno několik variant.

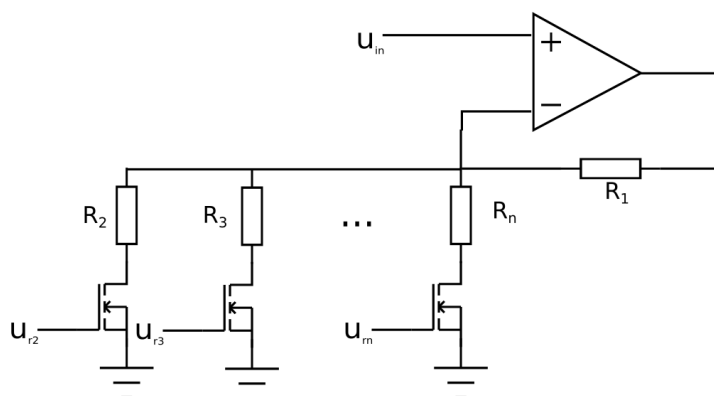
První, na první pohled nejlépe vypadající návrh, využívá MOSFET v jeho vodivostní oblasti. MOSFET se pak chová podobně jako odpor, který lze regulovat napětím na gate. Nejlépe se jeví varianta v jeho zapojení do neinvertujícího zesilovače, který by byl v celém zapojení umístěn za filtr DC složky. Pro naši aplikaci ovšem potřebujeme čtyři naprosto shodné zesilovače pro všechny sektory paraboly. Při použití MOSFETu tedy nastává komplikace vzhledem k neshodným vlastnostem jednotlivých kusů. Tento problém by mohly vyřešit čtyři MOSFETy na jednom čipu, u kterých by teoreticky mohly být rozdíly zanedbatelné. Takový integrovaný obvod je ovšem bohužel těžko k dostání. Také by šlo jednotlivé tranzistory kalibrovat. To by ssebou ale

přinášelo další komplikace. K výhodě takového zesilovače by bezesporu patřil kontinuální a velký rozsah.



**Obrázek 4.3:** MOSFET jako proměnný odpor

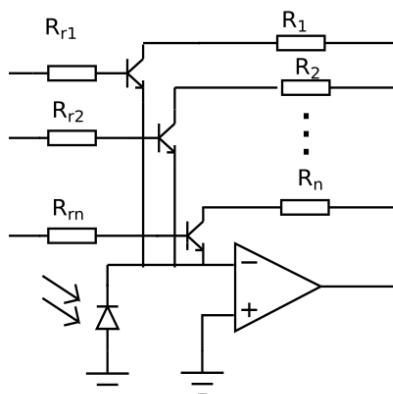
Další varianta je založena na obdobném principu jako předchozí. Tranzistory by zde ovšem sloužily pouze jako spínače jednotlivých rezistorů.



**Obrázek 4.4:** Proměnný zisk, spínané MOSFETy

Ani jedna z obou zmíněných variant nakonec nebyla použita, neboť experimentálně bylo zjištěno, že zesilovač po filtraci signálu, má na jeho zesílení v porovnání s prvním proudovým zesilovačem malý vliv. Při příliš malém proudovém zesílení už velké zesílení po filtraci nepomůže a na větší vzdálenosti je komunikace problematická. Když je první zesílení naopak příliš velké, dochází při vyšší úrovni příchozího signálu k zasaturování a komunikace je nefunkční na malou vzdálenost. Proto se jako nejlepší ukázala nakonec varianta přímo s

proměnným zesílením proudu indikovaného ve fotodiodě. Toto řešení není v klasických zesilovačích s proměnným zesílením příliš standartní, nicméně jej v tomto případě je možné použít. Na základě pokusů pak byly zvoleny hodnoty odporů  $2\text{ M}\Omega$ ,  $220\text{ k}\Omega$  a  $22\text{ k}\Omega$ , pro větší, střední a malou vzdálenost.



**Obrázek 4.5:** Zesilovač  $i/u$  s proměnným ziskem

#### ■ Filtr horní propusti

Při návrhu filtru se musí počítat s modulačním kmitočtem i kmitočtem přenosové rychlosti. Baudovou rychlost je tedy nutno volit s dostatečným odstupem od modulačního kmitočtu. V případě moc vysoké přenosové rychlosti by pak vznikaly zákmity nepříjemné pro další zpracování signálu. Vzhledem k obdélníkovému tvaru vysílaného signálu by se nemělo zapomenout na přítomnost vyšších harmonických složek. Na filtrování postačí použít klasický RC filtr, je tedy třeba uvažovat pokles útlumu  $20\text{ dB/dek}$ . Experimentálně bylo zjištěno, že přenosová rychlost 200 baudů těmto podmínkám vyhoví s rezervou. Podobnou rychlostí komunikují i dálkové ovladače domácí spotřebiče. Kondenzátor byl pak volen s hodnotou  $2,7\text{ nF}$  a rezistor  $10\text{ k}\Omega$ . Zlomový kmitočet je tudíž přibližně  $6\text{ kHz}$ , což je dostačující.

#### ■ Neinvertující zesilovač

Po filtrování je signál zesílen neinvertujícím zesilovačem ve standartním zapojení. Jako vhodné bylo experimentálně zjištěno zesílení okolo 200. Byly použity rezistory  $220\text{ k}\Omega$  a  $10\text{ k}\Omega$ . Bylo uvažováno, dát do zpětné vazby paralelně k rezistoru ještě kondenzátor, aby tak zesilovač fungoval rovnou jako částečný demodulátor. Takové zapojení se ale příliš neosvědčilo.

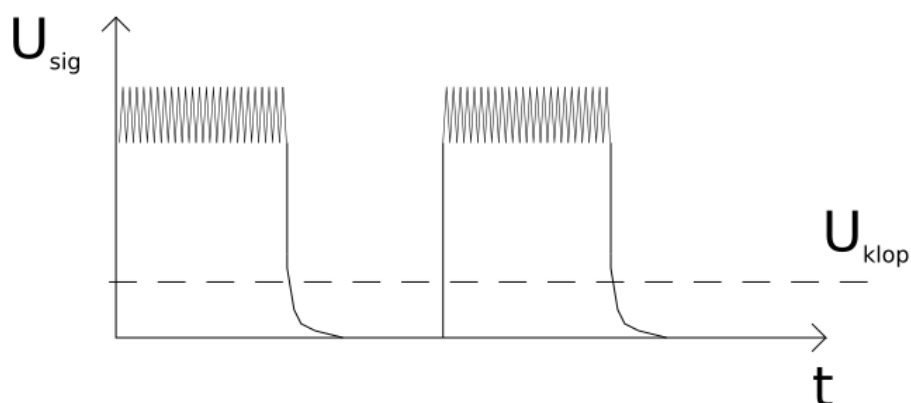


## ■ Demodulátor

Při návrhu dolní propusti, která se při zpracování signálu aplikuje na konci, se aplikují obdobné úvahy jako při návrhu filtru horní propusti. Zde je ovšem třeba zachovat složku kmitočtu přenosové rychlosti a odfiltrout modulační kmitočet. Jedná se tedy o opačnou operaci a rozdíl kmitočtů dostačující pro funkční filtr horní propusti by měl stačit i pro demodulátor, tedy dolní propust. Zde ovšem dobré vlastnosti filtru dolní propusti hrají zásadnější roli než u horní propusti. Utlumená složka modulačního kmitočtu nám totiž určuje přesnost překlápění následného komparátoru. Stejně tak ovšem vnáší nepřesnost utlumený kmitočet přenosové rychlosti. Proto čím větší rozdíl přenosového a modulačního kmitočtu, tím lépe. Nicméně přenosová rychlost 200 baudů byla přijata jako dostačující pro dostatečně dobré klopné parametry komparátoru a je třeba navrhnout vhodný filtr. Výše zmíněné úvahy spojené s experimentováním vyústily v kondenzátor 47 nF a rezistor 220  $\Omega$ . Paralelně ke kondenzátoru je připojen rezistor 10 K $\Omega$  aby se lépe vybíjel.

## ■ Komparátor

Po demodulaci se signál štěpí do dvou větví. Jednou z nich je komparátor. Bylo zvoleno klasické zapojení s odporovým napětovým děličem na invertujícím vstupu. Signál je přiveden do neinvertujícího vstupu a když překročí hodnotu napětí nastavenou odporovým děličem, komparátor překlopí na log 1. S ohledem na výše popsané zpracování signálu nesmí být tato napěťová hodnota příliš nízká. Při útlumu modulační frekvence totiž nezůstává přenosový kmitočet čistě obdélníkový a komparátor by pak klopal o trochu déle než by měl. Ovšem čím menší hodnoty by se dosáhlo, tím je větší citlivost a tedy i dosah přijímače. Jedná se tedy o to najít co nejmenší hodnotu klopného napětí, při kterém ještě mikrokontrolér rozliší správné symboly.



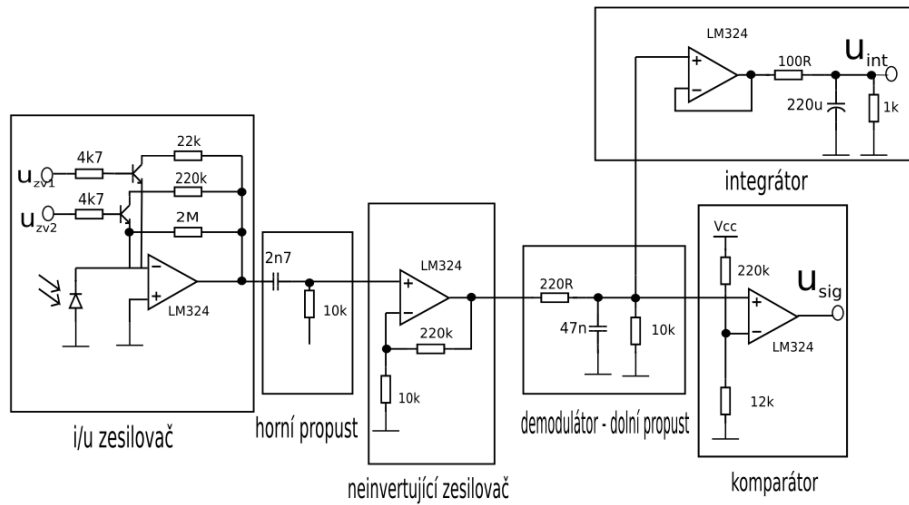
Obrázek 4.6: Klopné napětí komparátoru

## ■ Integrátor

ve druhé větvi je třeba signál vyhladit na DC složku, kvůli porovnávání intenzit v jednotlivých sektorech paraboly. To je uděláno jednoduše pomocí RC filtru s velkým elektrolytickým kondenzátorem 220  $\mu\text{F}$  a odporem 100  $\Omega$ . Paralelně s kondenzátorem je kvůli vybíjení rezistor 1  $\text{k}\Omega$ . S jeho velikostí se mění rychlost vybíjení. Lze tak tedy ovlivňovat citlivost přijímače na změnu směru příchozího signálu.

## ■ Celkový návrh zesilovače

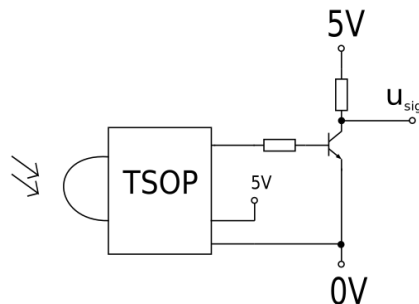
Konečné celkové zapojení je na následujícím obrázku. Byl použit IO (integrováný obvod) LM324, kde jsou integrovány čtyři operační zesilovače. [32416]



Obrázek 4.7: Konečné schéma zesilovače

#### 4.2.2 Zpracování signálu na jednotce ovladače

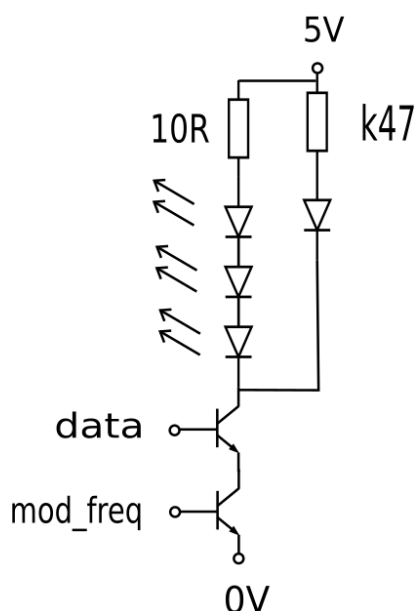
Na ovladač by se dal umístit stejný zesilovač, jako je na jednotce vozidla, který by neobsahoval větev pro detekci intenzity signálu, jelikož otáčení ovladače bude zajištěno uživatelem. Ovšem lepší je využít skvělých vlastností přijímače TSOP. Ten má při příjmu modulovaného signálu na svém výstupu log. 0, v klidu log. 1. [tso01] Proto je nutno jeho výstup před vývodem do USARTu ještě invertovat, což je uděláno pomocí tranzistoru s PULL - UP rezistorem



Obrázek 4.8: Přijímací obvod na ovladači

### 4.2.3 Vysílání optického signálu

Signál je modulován na obou komunikačních jednotkách stejným způsobem. Stejný je tedy i způsob vysílání. Jako vysílací LED byly zvoleny výkonové TSAL6100, kterými může téci nárazový proud až 200 mA. [61005] Vysílací infra LED jsou zapojeny sériově a spínány pomocí dvou NPN tranzistorů. Na bázi prvního tranzistoru jsou přivedena vysílací data z USARTU, na bázi druhého tranzistoru je přivedena modulační frekvence z řídicího mikrokontroléru. LED diody jsou připojeny v sérii společně s rezistorem 10  $\Omega$ . LEDkami tak teče nárazový proud přibližně 120 mA. Paralelně s vysílacími infra LED byla připojena červená LED jako kontrolka s rezistorem 470  $\Omega$ .



Obrázek 4.9: Vysílací obvod

### 4.2.4 Komunikace mezi pevnou a otočnou částí

Data jsou zpracována zesilovačem na jednotce na otočné části s parabolou. Pro ovládání vozidla je třeba je přenést na pevnou jednotku na vozidle.

Aby otáčení paraboly na vozidle nebylo nijak omezeno, je potřeba zajistit vhodný způsob přenosu užitečného signálu. Jako nejjednodušší řešení se nabízí například karátčové třecí kontakty. Ovšem vzhledem k demonstrativnímu

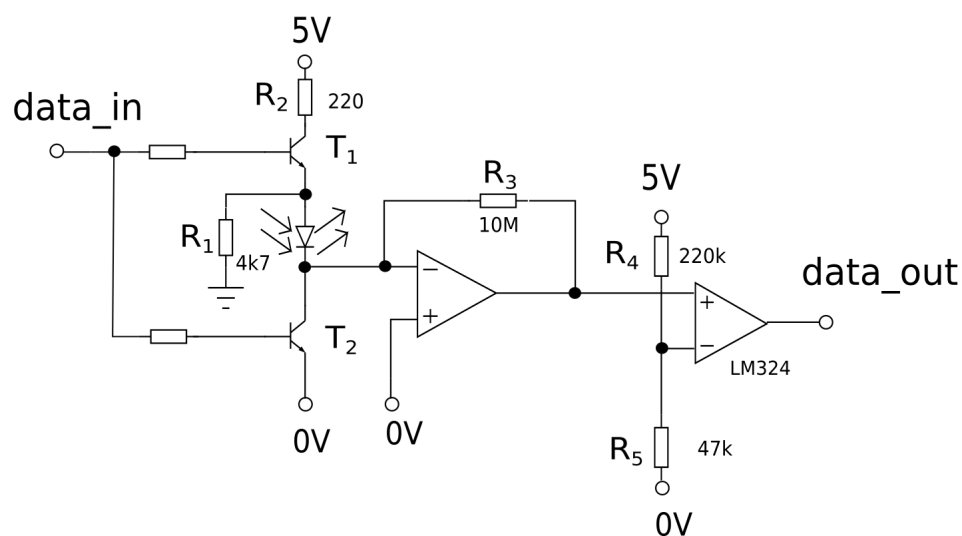
charakteru celé práce byla nakonec zvolena elegantnější varianta. Pro přenos se opět využívá optické záření. Jako vysílač i detektor se zde využívá ta samá LED. Spektrální oblast, kde dioda vyzařuje, se obvykle překrývá alespoň částečně s oblastí, na kterou je citlivá a indukuje závěrný proud.

Byly zkoušeny různé LED a jako nejlepší indikátor se projevila opět infra LED. Tentokrát ne tak výkonová, jako vysílací, ta fungovala v tomto režimu poměrně špatně. [opt06]

V použitém návrhu je zesilovač signálu řešen podobně jako v zesílení signálu od ovladače. Obyčejná LED není pro funkci detektoru optimalizovaná a nemá tudíž takovou citlivost, jako fotodiody použité v parabole. [opt06] [pin99] Proto je zde vhodné použít na zesílení indukovaného proudu ve zpětné vazbě OZ velmi velký odpor. Data se přenáší na malou vzdálenost a komunikaci lze snadno světelně izolovat od možných rušivých záření. Vzhledem k citlivosti LED ani není třeba se většího nebezpečí ze strany parazitních záření obávat. Proto je zde zbytečná i modulace.

V režimu detektoru je sériově s diodou připojen rezistor 4,7 k $\Omega$ , který je přiveden na zem. Indukovaný závěrný proud ve fotodiodě je zesílen i/u převodníkem s rezistorem 10 M $\Omega$  ve zpětné vazbě. Následuje komparátor, který již na výstupu klopí příslušné logické hodnoty. Velký odpor ve zpětné vazbě zajistí komunikaci minimálně na vzdálenost několika centimetrů.

Ve vysílacím režimu jsou posílanými daty spínány dva tranzistory, mezi nimiž se dioda nachází. Diodou prochází opačně polarizovaný proud než v režimu detektoru. Rezistor 4,7 k $\Omega$  je nyní s diodou připojen paralelně a má na proud diodou zanedbatelný vliv. Slouží tedy pouze jako stálé připojení anody diody na zem pro funkčnost v režimu detektoru.



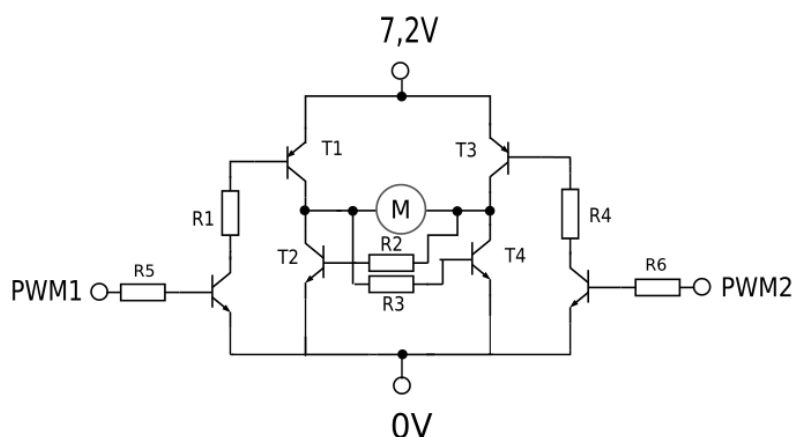
Obrázek 4.10: Optická spojka

V zařízení jsou tedy použity dva tyto stejné moduly. Jedna na otočné části a druhá na pevné části na vozidle. LED spolu komunikují skrze díru v ose otáčení paraboly v horizontálním směru.

#### 4.2.5 Řízení motorků na otočné části

Pro posun paraboly v horizontální a vertikální rovině jsou použity dva DC motorky. K jejich řízení se jako nejlepší jeví H - můstky. [hmu12]

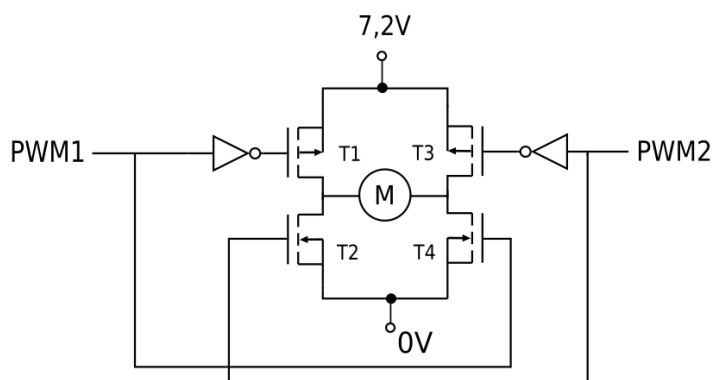
Jako první varianta byly vytvořeny dva H - můstky s bipolárními tranzistory BD13 (NPN) a BD140 (PNP). Proud motorkem při otáčení byl v maximu dle měření přibližně kolem 1 A. Proto by při proudovém zesílení, které bylo uvažováno kolem 100, by mělo s rezervou stačit připojit do báze odpory s hodnotou 220  $\Omega$ . Ve schématu nejsou zakresleny ochranné diody.



**Obrázek 4.11:** H-můstek s bipolárními tranzistory

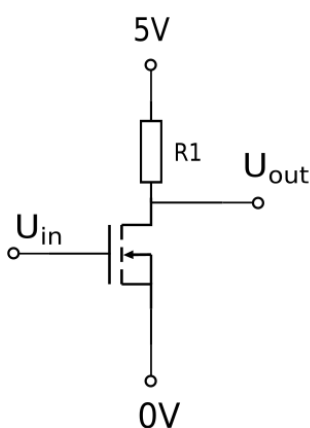
Toto zapojení fungovalo dobře, dokud se k otáčecí parabole nezabudovalo finální napájení a nezavedly se třecí kontakty. Je pravdou, že otáčení ve vertikální rovině se čas od času mírně zadržovalo, nicméně se poruchovost přikládala za vinu spíše mírně poškozené šroubovici na otáčecím šroubu. Při zmíněném zabudování napájení, kdy navíc otočná část přibyla na váze o připevněný plošný spoj, se zjistilo, že takový H - můstek není schopen dodávat na otáčení potřebný proud. Dosahoval pouze hodnoty 0,6 A. Po zmenšení bázových odporů na polovinu (dva paralelní smd rezistory připájené nad sebou) fungovalo otáčení dobře. Při vyšších proudech je pravděpodobně proudové zesílení bipolárních tranzistorů ještě menší, než minimální hodnota kterou uvádí datasheet. Avšak smd rezistory už nejsou dimenzované na takový výkon a nejspíš by se brzy spálili. Už předtím bylo použití resistorů s hodnotou 220  $\Omega$  při buzení se stoprocentní střídou PWM a napájení 7,2V za hranou uvedeného snesitelného výkonu. (0,125W).

Proto byl vytvořen náhradní obvod, kde byli H - můstky realizované pomocí MOSFETů. toto řešení je mnohem lepší, hlavně z hlediska spotřeby. Také maximální možný proud polem řízených tranzistorů je vyšší (-3,7 A u P MOSFETů a 6,5 A u N MOSFETů, u bipolárních tranzistorů je maximální proud 1,5A). Řešení tedy zahrnuje vítanou rezervu. Můstek by bylo určitě nejlepší realizovat pouze pomocí N-MOSFETů za použití regulátoru, nicméně pro funkční zapojení dostupného regulátoru byla potřeba velmi rychlá dioda, která v danou chvíli nebyla k dostání. Proto byla realizace H - můstku řešená následujícím způsobem. Spínání MOSFETů je realizováno "křížem" za pomoci invertorů. Lze tak snad softwarově realizovat bezpečnostní časová mezera mezi sepnutím nad sebou umístěných tranzistorů a také nedochází k nevyžádanému brzdění. Ve schématu nejsou zakresleny ochranné diody.



**Obrázek 4.12:** H-můstek s unipolárními tranzistory

Invertor je udělán pomocí N - MOSFETu s klasickým zapojení s PULL - UP rezistorem.



**Obrázek 4.13:** Invertor

#### ■ 4.2.6 Interakce s uživatelem

##### ■ Ovládání

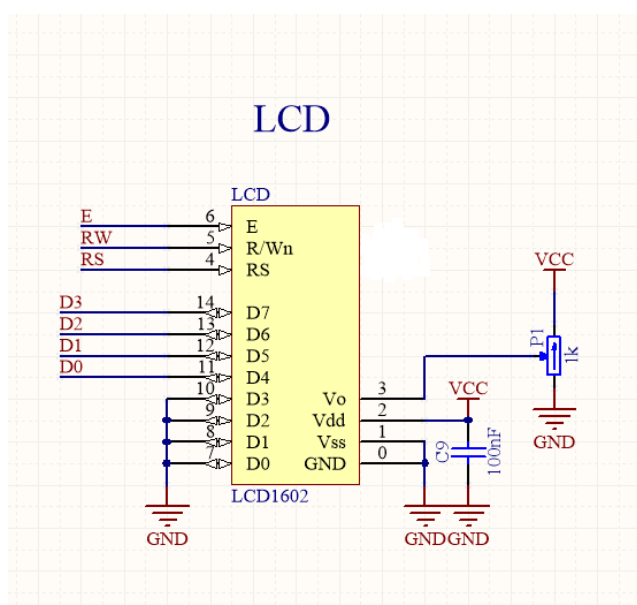
Pro řízení dálkového ovládání jsou vhodná například tlačítka nebo joystik. V našem případě byla zvolena tlačítka. Je použito klasické zapojení s PULL-UP



rezistorem s hodnotou 4,7 k $\Omega$ .

### ■ Zprostředkování přijatých dat uživateli

Nejprve byly jako prostředek ke sdělování stavu komunikace uvažovány obyčejné LED, které by specificky blikaly či svítily. Jako lepší varianta se nabízí LCD (Liquid Crystal Display) . Sdělení uživateli je jasnější a snadněji se implementují další možná rozšíření. V zařízení je použit alfanumerický dvouřádkový LCD displej s radičem. Model MC1602E-SYL. Displej je buzen čtyřbitovou komunikací. Zbylé čtyři datové piny jsou nevyužity a uzemněny. Pro ovládání kontrastu je zde potenciometr.[lcd06]



Obrázek 4.14: Zapojení LCD

### ■ 4.2.7 Komunikační jednotky

#### ■ Společné vlastnosti všech jednotek

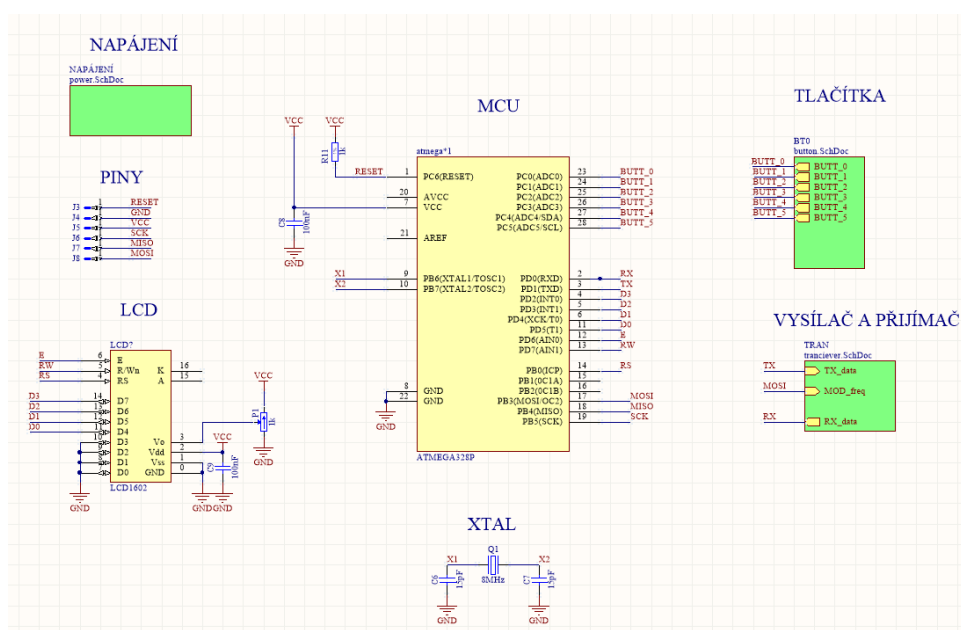
Všechny tři jednotky, tedy ovladač a dvě jednotky na automobilu, mají stejný základ. Ten bude tedy popsán nejdříve a pak se přejde k dílčím jednotkám. Základní kámen všech jednotek je mikrokontrolér ATMEGA328. Ten obsahuje

všechny potřebné peripetie pro kýženou aplikaci. [atm09] Napětí z baterky je regulováno na 5V pomocí LM7805. Je použitý krystalový oscilátor s kmitočtem 16 MHz a z mikrokontroléru jsou na plošném spoji vyvedeny programovací piny. Plošné spoje jsou vyráběny na fakultě metodou osvitů UV zářením.

### Jednotka ovladače

Ovladač umí vysílat a přijímat modulovaná data a “sdělovat” obsah přijímaných dat uživateli.

Obsahuje mikrokontrolér, šest tlačítek, vysílací obvod s infra LED a jednou červenou LED jako kontrolkou, přijímací obvod s přijímačem TSOP a LCD displej.



Obrázek 4.15: Schéma obvodu ovladače

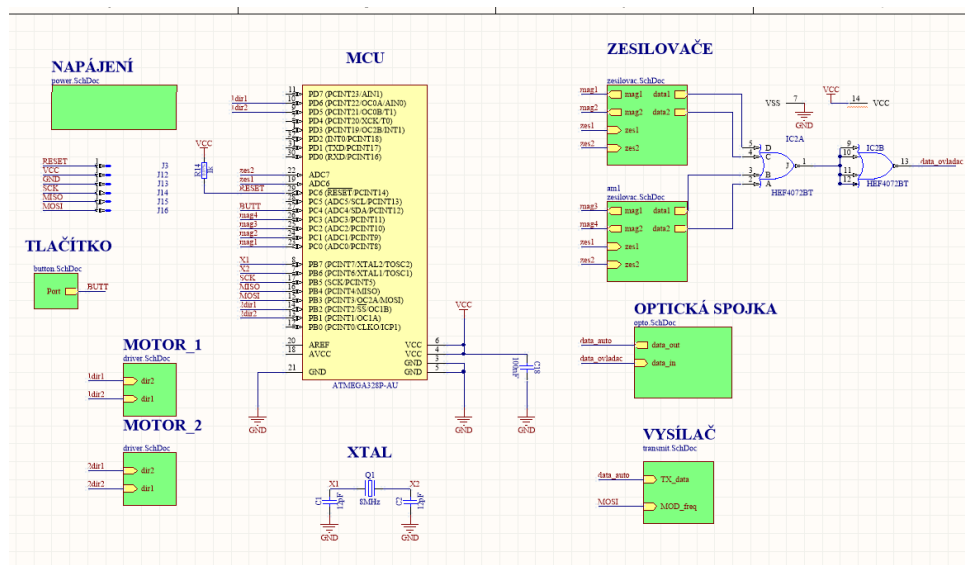
Tlačítka slouží pro ovládání vysílaných dat uživatelem a tedy pro řízení chodu vozidla. Jako komunikační protokol je využit USART. Modulační frekvenci zajišťuje TIMER. Displej slouží pro zobrazování přijímaných dat od jednotky na vozidle.

## Jednotka otočné části na vozidle

Na otočné části s přijímací parabolou je třeba pouze porovnávat intenzity přijímaného signálu v jednotlivých sektorech paraboly a přeposílat data dál na pevnou jednotku. To by bylo jistě možné řešit pouze analogově bez použití mikrokontroléru. Ovšem vzhledem k tomu, že jednotlivé sektory nejsou stoprocentně shodné, je vhodná možnost kalibrace vyhodnocovacího algoritmu. Zvláště ve vertikální rovině, neboť do horního sektoru paraboly ve většině případů dopadá více slunečního záření a citlivost daného přijímače tudíž nemusí dosahovat takové úrovně, jako přijímač v sektoru dolním. V rovině vertikální byl zas jeden sektor paraboly mírně poškozen vteřinovým lepidlem a neodráží proto tak dobře jako sektor na druhé straně. Parametry se můžou lišit také za různých světelných podmínek. Pro tyto komplikace je jednodušší použít mikrokontrolér.

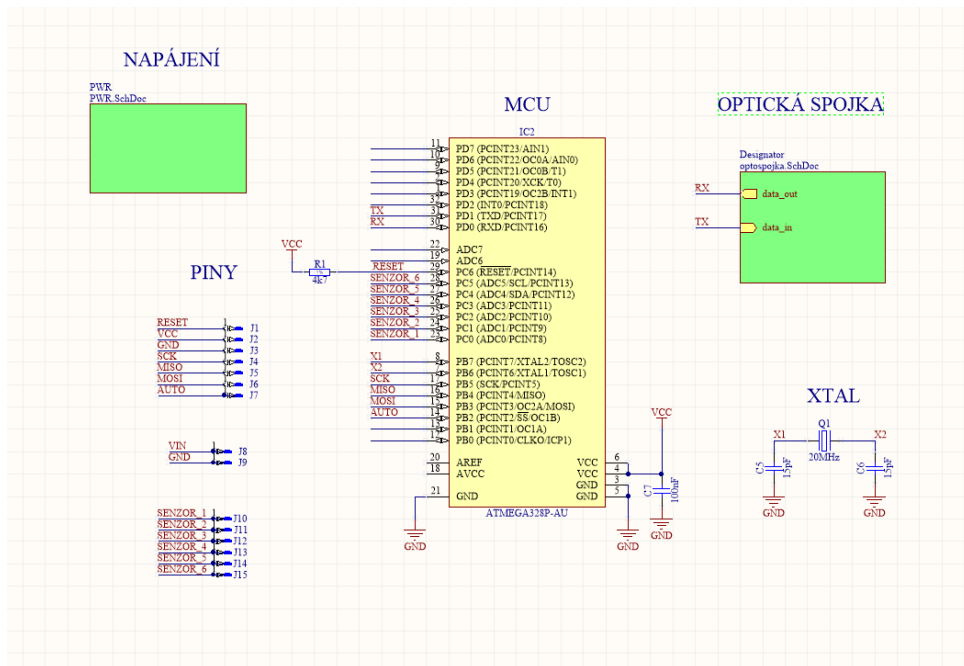
Úkolem jednotky na otočné části je na základě vyhodnocení intenzit v jednotlivých sektorech ovládat dva DC motorky a tím otáčet parabolou. Dále dělá také 'prostředníka' mezi ovladačem a pevnou jednotkou na vozidle. Data směrem k ovladači navíc moduluje.

Jednotka obsahuje mikrokontrolér, čtyři zesilovače s fotodiodou, H - můstky pro řízení motorků, jednu stranu optické spojky a vysílací obvod s infra LED TSAL6100 a červenou LED kontrolkou.



Obrázek 4.16: Schéma obvodu na otočné části





Obrázek 4.17: Schéma obvodu pevné části



# Kapitola 5

## Softwarová část

Pro psaní programu se používalo uživatelsky přátelské prostředí MIKROc pro AVR. Na mikrokontrolér se programovalo pomocí programátoru FORTE.

### 5.1 Ovladač

ak již bylo výše zmíněno, na komunikaci je využit zabudovaný USART. Ten pracuje v Asynchroním režimu. Data jsou vysílána i přijímána za pomoci generování interruptů.

Modulační kmitočet generuje Timer 2 v režimu CTC. Mikrokontrolér přepne polaritu daného pinu, když timer dosáhne nastavené hodnoty. Při použití krystalu 16 MHz a bez dělení časových impulsů tak pro dosažení frekvence 36 kHz dostáváme hodnotu 222.

Tlačítka fungují jednoduše za použití registrů PIN. Nekonečný cyklus kontroluje, zda se na daných pinec nenachází log 0, která znamená zmáčknuté tlačítko.

Ovládání displeje je v programu jednoduše řešeno za pomoci knihoven pro LCD, zabudovaných v prostředí MikroC.

## 5.2 Otočná část

Na vyčtení hodnoty z jednotlivých přijímačů se používá AD převodník. Vstup do AD převodníku je přepínán pomocí interruptů. Po dokončení převodu z jednoho zesilovače se přepne vstup AD převodníku na další pin v pořadí. Porovnávání je pak spouštěno v nekonečném cyklu v pravidelných intervalech 200 ms. Porovnávány jsou vždy dva přijímače z protilehlých sektorů paraboly. Při neshodě, která překračuje nastavenou toleranci se spínají H - můstky a parabola se otáčí. Typická rozdílová tolerance byla experimentálně vyzkoumána na hodnotu 15. (Při použití osmibitového převodu, tedy maximální hodnotě 255).

H - můstky jsou spínány pomocí PWM, kterou generuje timer 0 a timer 1. Oba dva mají po dvou výstupech, což se skvěle hodí pro snadné přepínání směru otáčení motoru. Nakonec se ukázalo, že příliš nízká střída PWM nedokáže zatíženými motoru hnout. Nejlepším doposud dosaženým řešením je zatím stále stejná střída PWM, s hodnotou asi 0,7. Při neshodě intenzit se H - můstek sepne na 400 ms.

Timer 2 generuje, stejně jako na ovladači, modulační frekvenci.

Tranzistory pro změnu zisku přijímačů jsou připojeny ke dvěma pinům. Od všech čtyř zesilovačů jsou tranzistory spínající daný odpor připojeny na ten samý pin. Při definované změně detekované intenzity se pak mění logická výstupní napěťová hodnota daných pinů. Při přibližování zdroje vysílaného signálu k automobilu dochází v určité blízkosti k zasaturování proudového zesilovače a tedy k náhlému poklesu detekované hodnotě intenzity. Zasaturovaná hodnota neprojde filtrem. Proudové zesílení se tedy přepne na menší. Naopak při oddalování je pokles intenzity pozvolný a zesilovač v pravou chvíli přepne na vyšší zesílení.

## 5.3 Pevná část

USART je zde nastaven stejně jako na ovladači. Na automobil jsou vyvedeny čtyři výstupy, které znamenají dopředu, dozadu, doleva, doprava. Příkazy doleva a doprava znamenají otočení kol. Tyto řídicí piny jsou zapínány na základě přijatých dat pomocí registrů PORT. Základní příkazy instalovaného řízení jsou dopředu, dozadu, dopředu a doprava, dopředu a doleva, dozadu



a doprava, dozadu a doleva. Snadno by šel ale realizovat například příkaz typu: objed' kružnici daného poloměru. S budoucím zabudováním příslušných senzorů by šlo například přidat příkaz: opatrně jeď dokud nenarazíš na překážku a pak se vrať.





## Kapitola 6

### Testování zařízení

Komunikace funguje na vzdálenost 11 metrů. Měření bylo prováděno v chodbě dlouhé 11 metrů, delší dosah tedy nelze potvrdit. Rozlišení směru příchozího signálu je funkční přibližně do pěti metrů a při maximální výchylce trajektorie signálu od osy paraboly 45 stupňů. Pro spolehlivé fungování na delší vzdálenosti by bylo zřejmě třeba zvýšit rozdělující stěny v parabole. Vzhledem k tomu, že při přímém zamíření ovladačem je detekovaná intenzita stále na vysoké úrovni, nepředpokládá se v těchto vzdálenostech možné zlepšení pomocí lepšího programu řídicího mikrokontroléru. TSOP přijímač na ovladači zvládá 11 metrů bez problému. Proměnlivý zesilovač fungoval dobře v nepájivém poli. Na DPS nebyl řádně otestován a pro řízení byl zesilovač úspěšně používán za největšího zisku.



## Kapitola 7

### Závěr

Cíl práce bylo vytvořit optickou komunikační soustavu a s její pomocí ovládat elektromobil. Součástí přijímací jednotky na vozidle měla být parabola, která je schopná se otáčet za řídicím signálem. Tato práce již byla jednou vytvořena a tudíž bylo hlavním úkolem vyvarovat se předešlých chyb a řešit špatně fungující části práce lepším způsobem. Mezi hlavní nedostatky předešlé práce patřil způsob rozlišení směru řídicího signálu. V tomto ohledu se práce vydařila a povedlo se vyvinout zesilovač, který je schopný dávat na výstupu informaci o intenzitě detekovaného signálu. Rozlišení směru tak funguje poměrně dobře na kratší vzdálenosti. Pro zlepšení funkčnosti na větší vzdálenosti by bylo zřejmě třeba oddělit od sebe sektory vyššími stěnami. Otáčení paraboly, jak ve vertikálním tak v horizontálním směru bylo řešeno jiným způsobem, než v předešlé verzi. V otáčení ve vertikální rovině je použitý šroub určitě spolehlivější než šroubovice z CD mechaniky v původním návrhu. Otáčení v horizontálním směru je také funkční. Ovšem vzhledem k použití DC motorků je otáčení celkově "agresivnější" a ne tak přesně ovladatelné, jako v původním návrhu, kde byli motorky krokové. Navíc převodová kolečka nebudou pravděpodobně dlouhodobě spolehlivá, alespoň bez občasného dotahování držících šroubků. Nicméně se povedlo otáčení paraboly realizovat. Komunikace funguje při dostatečně přesném míření dobře. Zařízení může sloužit jako učební pomůcka a je připravené na další rozšiřování.



# Příloha A

## Literatura

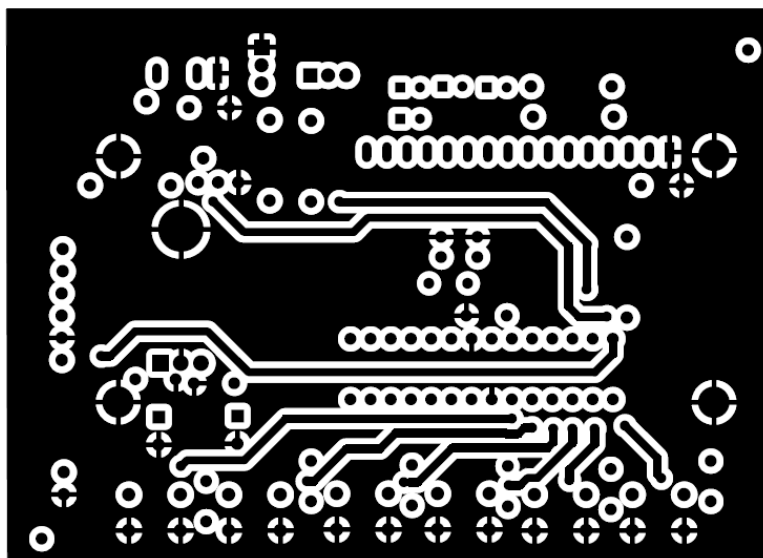
- [32416] *Datasheet fotodiody bpv10nf* <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/LM324-D.PDF>, On Semiconductor (2016).
- [61005] *Datasheet vysílací infra led tsal6100* <https://www.vishay.com/docs/81009/tsal6100.pdf>, Vishay Semiconductors (2005).
- [atm09] *Atmega328 - datasheet, dostupný na* [http://atmega32-avr.com/Download/atmega328\\_datasheet.pdf?x28182](http://atmega32-avr.com/Download/atmega328_datasheet.pdf?x28182), Atmel (2009).
- [hmu12] *zapojení h - můstků*, <http://www.talkingelectronics.com/projects/H-Bridge/H-Bridge-1.html>, dalingtonfda (2012).
- [ir13] *Circuit description of the ir receiver modules, dostupné na* <https://www.vishay.com/docs/80069/circuit.pdf>, Vishay Semiconductors (2013).
- [lcd06] *Datasheet k lcd*, <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.513-128.1.pdf>, On Semiconductor (2006).
- [Maj10] M. Majer, *Diplomová práce - dálkové ovládání pro řízení modelu automobilu*, FEL (2010).
- [opt06] *Datasheet led v optické spojce*, <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.518-323.1.pdf>, On Semiconductor (2006).
- [pin99] *Datasheet fotodiody bpv10nf* <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.520-044.1.pdf>, Vishay Semiconductors (1999).
- [tso01] *Tsop - datasheet, dostupné na* <http://dalincom.ru/datasheet/TSOP1736.pdf>.



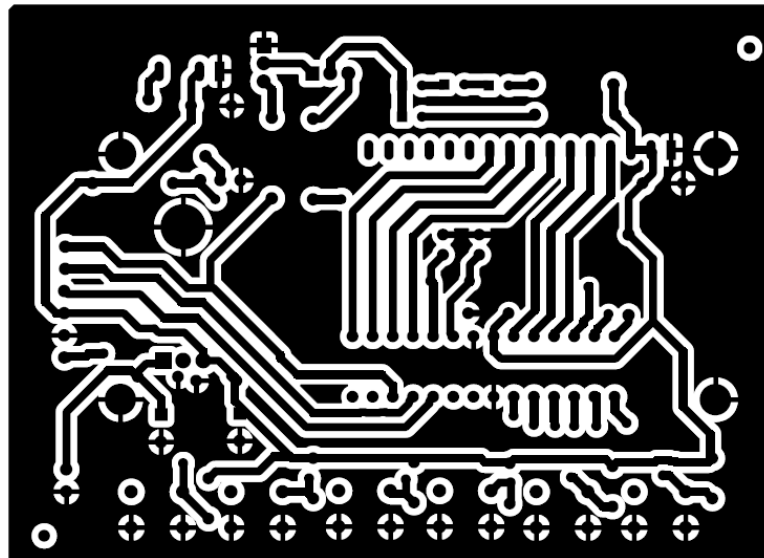


## Příloha B

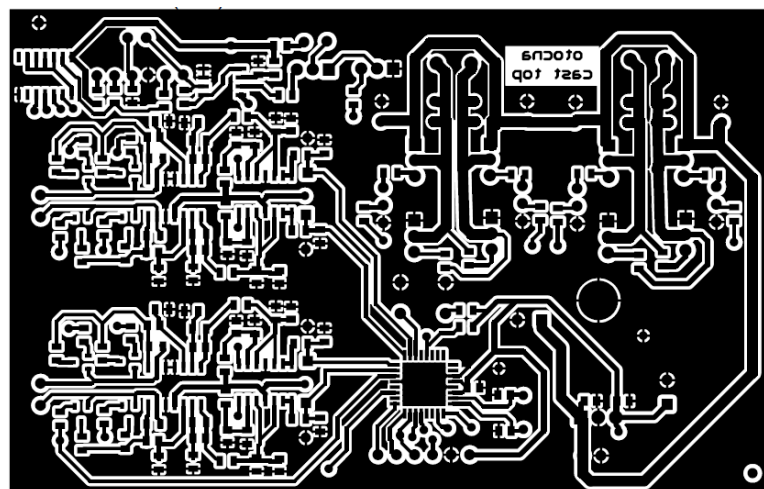
### Desky plošných spojů



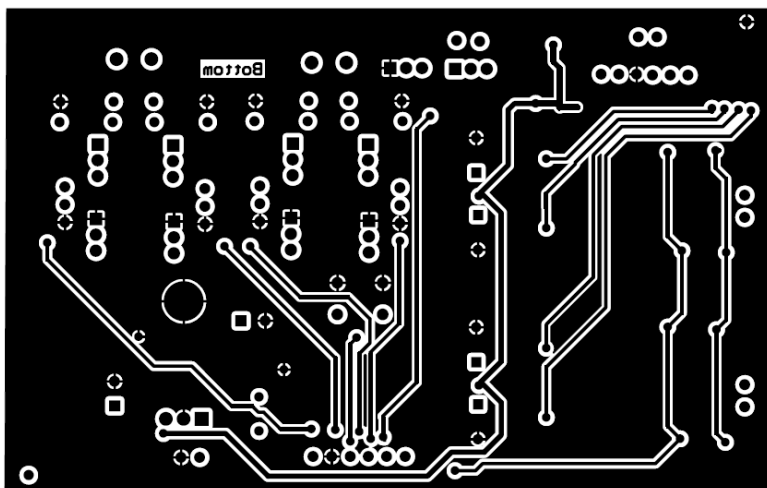
Obrázek B.1: Plošný spoj na ovladači. Top.



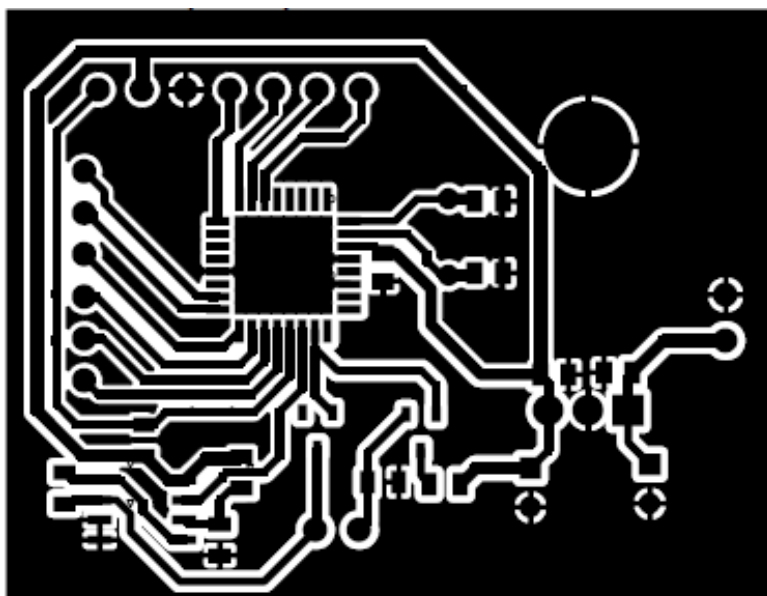
Obrázek B.2: Plošný spoj na ovladači. Bottom.



Obrázek B.3: Plošný spoj na otočné části. Top.



Obrázek B.4: Plošný spoj na otočné části. Bottom.

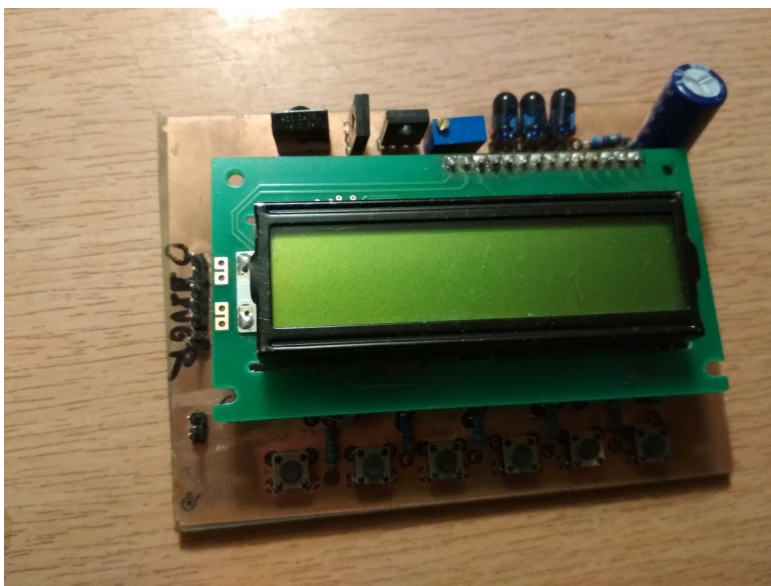


Obrázek B.5: Plošný spoj na pevné části.



## Příloha C

### Fotky zařízení



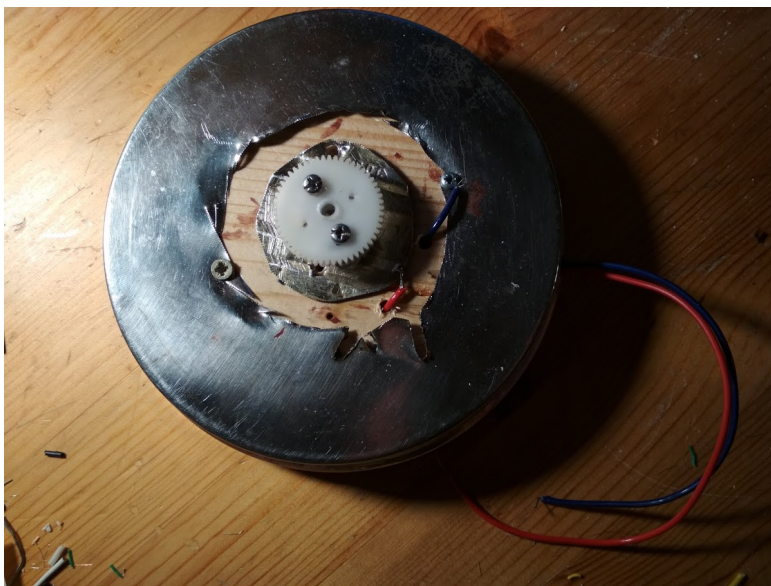
Obrázek C.1: Jednotka ovladače



Obrázek C.2: Otočná část s přijímací parabolou.



Obrázek C.3: Soustava převodových koleček pro otáčení paraboly



**Obrázek C.4:** Pevně uchycené kolečko pro otáčení paraboly, napájení