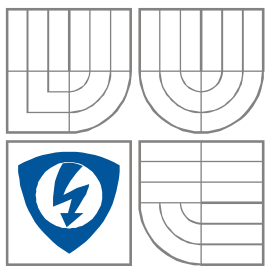


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ŘÍDICÍ JEDNOTKA PRO ROBOTICKÝ VYSAVAČ

CONTROL UNIT FOR ROBOTIC VACUUM CLEANER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

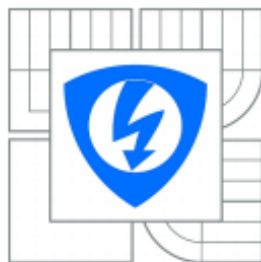
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN MATĚJŮ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. LUDĚK ŽALUD, Ph.D.

BRNO 2012



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Jan Matějů
Ročník: 2

ID: 106627
Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Řídicí jednotka pro robotický vysavač

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou automatických vysavačů, proveďte rešerši současných řešení. Navrhněte řídicí jednotku pro robotický vysavač na bázi výkonného mikrokontroléru. Navrhněte desku plošných spojů. Jednotku prakticky realizujte a otestujte. Dále navrhněte, realizujte a otestujte řídicí program pro automatické vysávání.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Joseph J. Jones, et. al., Mobile Robots - Inspiration to Implementation, A K Peters, 1999, ISBN 1-56881-097-0

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 21.5.2012

Vedoucí práce: doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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

Předkládaná práce se zabývá v úvodní části zpracováním rešerše na téma robotické vysávání a zhodnocení výrobků v této rešerši. Hlavním zaměřením práce je návrh veškeré potřebné řídicí elektroniky a návrh desky plošných spojů. Je také navržena metoda pro určení vzdálenosti mezi překážkou a robotem. Dokument dále popisuje problémy spojené s návrhem IR snímače. Poslední částí je návrh řídicího softwaru pro robota a jeho testování.

Klíčová slova

Robot, robotický, vysavač, rešerše, proximity, IR snímač, budič, motor, řídicí, systém, paměť, IRQ multiplexer, ADC, RF, modul, RAM, LCD, touchscreen, mikrokontroler, autonomní, ISP, software.

Abstract

This paper is in introduction focused on review of robotic vacuum cleaning and evaluation of available products qualities. However the main focus of this paper is system design of all subsystems, control systems and PCD design of robot electronics. In this paper is also described a method for evaluating approximate distance of robot from the obstacle. There are also described problems of system design of IR proximity sensors. The last part of this work is development of control software for robot and its testing.

Keywords

Robot, robotic, vacuum, cleaner, proximity, IR, sensor, driver, motor, control, system, memory, IRQ multiplexer, ADC, RF, module, RAM, LCD, touchscreen, microcontroller, autonomous, ISP, software.

Bibliografická citace:

Bc. MATĚJŮ, J. *Řídicí jednotka pro robotický vysavač*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 86s, 7 příloh. Vedoucí diplomové práce byl doc. Ing. Luděk Žalud, Ph. D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Řídicí jednotka pro robotický vysavač jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **23. května 2012**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrální práce doc. Ing. Luděku Žaludovi, Ph.D. za rady, podporu a vstřícnost při plnění úkolů souvisejících s diplomovou prací.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Michalu Strakovi za rady, vstřícnost a ochotu. Rovněž také za zprostředkování materiální podpory firmy iRobot, za kterou jsem velmi vděčný.

V Brně dne: **23. května 2012**

.....

podpis autora

OBSAH

Obsah	7
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
1 Úvod	12
2 Přehled trhu	13
2.1 iRobot	13
2.1.1 Vysávací roboty	14
2.1.2 Vytírací robot Scooba	15
2.2 iClebo	15
2.3 Samsung	16
2.4 Cleanmate	17
2.5 Ecovacs	18
2.6 Fun Beat	19
2.7 Goddess	20
2.8 Robzone	20
2.9 Zhodnocení rešerše	22
3 Mechanická konstrukce robota	24
4 Návrh robotického vysavače	25
4.1 Prvotní představa	25
4.2 Blokové schéma robota	26
5 Návrh proximních snímačů	27
5.1 Intenzitní proximní snímač	27
5.2 Schéma zapojení snímače	28
5.3 Deska plošných spojů snímače	29
5.4 Snímač – Partlist	29
5.5 IR proximní snímač podlahy	31
6 Měření proximního snímače	32
6.1 Předmět zájmu	32
6.2 Vyhodnocení naměřených dat	34
6.3 Zpracování naměřených dat	35
6.4 Měření snímače podlahy	38
7 Zhodnocení rvní části	39
8 Návrh zapojení řídicí elektroniky	41

8.1	Power management.....	41
8.1.1	Popis napájecích větví.....	41
8.1.2	Popis managementu akumulátoru	42
8.1.3	Popis shutdown logiky	43
8.1.4	Schéma zapojení	44
8.2	Řízení bočního kartáče a sací turbíny	45
8.3	Řízení pohonu kol.....	46
8.3.1	Řízení pohonu kol - měření proudu	46
8.3.2	Řízení pohonu kol – řídicí logika.....	46
8.3.3	Řízení pohonu kol – měření otáček.....	48
8.3.4	Řízení pohonu kol – schéma.....	48
8.4	Řízení hlavního rotačního kartáče	49
8.5	Sekundární řídicí systém.....	50
8.5.1	Proximitní snímače – sběr dat.....	50
8.5.2	Měření ostatních analogových veličin.....	51
8.5.3	IRQ a IRQ multiplex.....	52
8.5.4	Schéma zapojení pro kapitoly 8.5.1 – 8.5.3.....	53
8.5.5	IO multiplex.....	53
8.5.6	RF modul.....	54
8.5.7	AVR – ARM Level shifter a komunikační rozhraní	55
8.5.8	Schéma zapojení pro kapitoly 8.5.5 – 8.5.7.....	56
8.6	Primární řídicí systém.....	57
8.6.1	SDRAM.....	60
8.6.2	Audiovýstup	62
8.6.3	Řízení krokového motoru pro autofocus	63
8.6.4	Ovládání kamery.....	64
8.6.5	Budič LASERů.....	65
8.6.6	Mikro SD karta	65
8.6.7	Ovládání LCD, Touchpadu	66
9	Návrh DPS	68
10	zhodnocení návrhu řídicí desky.....	70
11	Řídicí software	71
11.1	Nastavení fuse bitů	71
11.2	Popis proměnných	72
11.2.1	Konstanty	72

11.2.2	Analogové proměnné	72
11.2.3	Logické proměnné	73
11.2.4	Ostatní	73
11.2.5	Podrobný popis proměnných PWRMOD a DRIVER	73
11.3	Popis funkcí.....	75
11.3.1	Funkce INI.....	75
11.3.2	Funkce update_status	76
11.3.3	Funkce update_suply.....	76
11.3.4	Přerušení ISR(INT7_vect).....	77
11.3.5	Přerušení ISR(TIMER3_COMPA_vect).....	77
11.3.6	Přerušení ISR(ADC_vect)	78
11.4	Nastavení kompilátoru	79
11.5	Představa o dalším vývoji kódu.....	79
12	Závěr.....	80
13	Cíle k dosažení	82
14	Použitá literatura.....	83
15	Seznam příloh.....	86

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Blokové schéma robota	26
Obr. 2	Schéma IR proximního snímače	29
Obr. 3	DPS snímače 1:1	29
Obr. 4	Snímač-montážní schéma	29
Obr. 5	Snímač podlahy-princip.....	31
Obr. 6	Měřicí aparatura	33
Obr. 7	Měřicí aparatura	33
Obr. 8	Graf naměřených hodnot pro HPTB5-14D-B a TSAL5100	35
Obr. 9	Grafické znázornění určení vzdálenosti-metoda1	36
Obr. 10	Grafické znázornění určení vzdálenosti-metoda2	37
Obr. 11	Schéma zapojení-power management	44
Obr. 12	Schéma zapojení-boční rotační kartáč, sací turbína	45
Obr. 13	Řízení pohonu kol-diagram přechodů mezi stavy	47
Obr. 14	Schéma zapojení-řízení pohonu kol	48
Obr. 15	Schéma zapojení-řízení hlavního rotačního kartáče.....	49
Obr. 16	Schéma zapojení pro kapitoly 8.5.1-8.5.3.....	53
Obr. 17	Schéma zapojení pro kapitoly 8.5.5-8.5.7.....	56
Obr. 18	Schéma zapojení-primární řídicí systém část1	58
Obr. 19	Schéma zapojení-primární řídicí systém část 2.....	59
Obr. 20	Schéma zapojení-primární řídicí systém část 3	60
Obr. 21	Schéma zapojení-RAM.....	61
Obr. 22	Schéma zapojení -audiovýstup část 1	63
Obr. 23	Schéma zapojení-audiovýstup část 2.....	63
Obr. 24	Schéma zapojení-řízení krokového motoru-autofocus	64
Obr. 25	Hrubé mechanické uspořádání laserů	65
Obr. 26	Schéma zapojení-budič laserů.....	65
Obr. 27	Schéma zapojení-mikro SD karta.....	66
Obr. 28	Schéma zapojení-LCD+touch screen	67
Obr. 29	DPS-řídicí deska pro vysávací robot	69
Obr. 30	AVR ISP Programmer	71
Obr. 31	Nastavení kompilátoru.....	79

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1	Přehled iRobot.....	15
Tabulka 2	Přehled iClebo.....	16
Tabulka 3	Přehled Samsung.....	17
Tabulka 4	Přehled Cleanmate.....	18
Tabulka 5	Přehled Ecovacs.....	19
Tabulka 6	Přehled Fun Beat.....	19
Tabulka 7	Přehled Goddess.....	20
Tabulka 8	Přehled Robzone.....	21
Tabulka 9	Naměřené hodnoty pro HPTB5-14D-B a TSAL5100.....	34
Tabulka 10	Řízení pohonu kol-logická tabulka.....	47
Tabulka 11	Vodiče na konektoru proximitního snímače.....	50
Tabulka 12	IRQ kanály.....	52
Tabulka 13	Multiplexované IRQ kanály.....	52
Tabulka 14	IO multiplex první skupina.....	54
Tabulka 15	IO multiplex druhá skupina.....	54

1 ÚVOD

Úvodem by bylo vhodné uvést několik slov k výběru tohoto tématu. Při výběru tématu, na kterém bude více než tři semestry práce, byl brán zřetel jednak na to, aby téma bylo zajímavé a také zábavné a jednak aby po dokončení diplomové práce výrobek či prototyp byl, nebo mohl být, k něčemu užitečný. Užitečný nejen při své činnosti a funkci, ale například také přínosem pro další vývoj na zařízení. Téma Robotický vysavač bylo tedy vybráno jednak z důvodu zájmu o robotiku obecně a jednak z důvodu praktické využitelnosti prototypu.

Lidé odvědy přemýšleli, jak si práci usnadnit a ulehčit. Zejména jak to udělat, aby práci, která je obtěžuje a neradi ji dělají, udělal někdo jiný. V dnešní době to platí dvojnásob. Tito domácí roboti dokážou lidem práci usnadnit. Prozatím nezvládnou plnit mnoho úkolů, nicméně je jen otázkou času, kdy člověk robota „naučí“ plnit daleko více úkolů a daleko lépe, než je tomu nyní. Kdy k tomu však dojde, závisí také na zájmu veřejnosti jak o tuto tematiku, tak o koupi samotných robotů. Vysávací roboti byli ještě před nedávnem poměrně drazí a zájem o jejich koupi nevalný. Za poslední rok, dva roky ceny klesly rychle dolů a zájem o tyto roboty je vysoký a to ve všech společenských vrstvách. Míra zájmu o tuto oblast vědy také určuje rychlost jejího vývoje.

V rámci Semestrálního projektu 1 byla vytvořena rešerše na téma robotické vysavače, byl vytvořen prvotní pohled na další problémy a jejich řešení a byl také vyvinut infračervený proximitní snímač. Bylo naměřeno množství charakteristik pro různé materiály a úhly natočení. Byla také vytvořena metoda pro určení odhadu vzdálenosti překážky. Poslední částí prvního semestrálního projektu je návrh snímače podlahy.

V rámci druhého semestrálního projektu byla navržena veškerá řídicí elektronika potřebná k provozu robota a také deska plošných spojů. Návrh byl komplikován zejména požadavky na minimální rozměry a cenu. Ač se možná na první pohled nezdá, řídicí deska obsahuje velké množství hardwaru obsluhujícího veškeré vybavení robota, jako proximitní snímače, veškeré pohony, bezdrátovou komunikaci, nabíjení a kontrolu akumulátoru a mnoho dalšího, podrobně v práci dále popsáno hardware.

V rámci poslední části této práce byla dokončena výroba desky plošných spojů, deska byla otestována a vzhledem ke složitosti a komplexnosti řídicího softwaru byla naprogramována pouze jeho část pro sekundární řídicí systém. V dokumentaci je popsáno chování programu, jeho části, nastavení kompilátoru a nastavení fuse bitů mikrokontroleru Atmega128.

2 PŘEHLED TRHU

Firem, které se zabývají výrobou robotických vysavačů, je již poněkud velký počet. Tato rešerše se zabývá roboty, které lze zakoupit v České Republice, což sice poněkud omezuje výčet všech firem zabývajících se touto problematikou, nicméně v rešerši jsou uvedeny všechny firmy, jejichž výrobky se nacházejí na pomyslné špici současných robotických vysavačů. Obsáhnout všechny firmy zabývajících se touto tematikou je velmi obtížné, zejména proto, že velký počet těchto firem je méně známých, či naprosto neznámých. Výrobky těchto méně známých firem jsou si však parametry obecně rovny a robotické vysavače nedosahují kvalit výrobků firem vedoucích trh. Následující text je roztržiděn dle firem vyrábějících robotické vysavače, kde je vždy (pokud to bylo možno) uvedena obecná charakteristika výrobků této firmy a následně popsány jednotlivé modely.

Ceny, uvedené v rešerši, byly publikovány k datu 28. 12. 2010, mohou tedy již být neaktuální. Vzhledem k rychlosti vývoje v této oblasti je možné, že některé modely již nebudou v prodeji.

[1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]

2.1 iRobot

- Vyhýbá se překážkám, schodům, lehce přejíždí mezi různými typy podlah a uklízí i těžko přístupná místa, jako jsou rohy místností, lišty a prostor pod nábytkem.
- Zvláště tmavá podlaha může zhoršit funkci senzoru schodů. Na zcela černých podlahách robot nemusí fungovat (nerozjede se, nikdy však nespadne, obecný problém všech robotických vysavačů).
- Každý kartáč se točí jinou rychlostí. Hlavní kartáč (Bristle Brush) má rychlost otáčení 1000 ot./min., pomocný kartáč (Flexible Brush) 1600 ot./min. Side Brush vymetá nečistoty z rohů místností pod sebe, kde jsou vysávány hlavním a pomocným kartáčem. Nejmenší částice, jako jsou prach a alergen, odstraňuje stěrka a pomocí sacího motoru jsou zachyceny ve filtračním systému.
- Rozměry robotů byly navrženy tak, aby vyhovovaly typizovanému evropskému nábytku. iRobot tak uklízí i těžko přístupná místa.
- iRobot také disponuje systémem úniku ze svízelné situace. Pokud se robot dostane do nestandardní situace, je vybaven naprogramovanými režimy, které jej z problémové situace dostanou. Proto nenajdete Roomba uvíznutou.
- Všechny modely disponují IR proximitními snímači.

iAdapt™ - Jedná se o algoritmus pohybu robota v prostoru, vyhýbání se překážkám.

Manual Virtual Wall - Pomocí tohoto systému lze vymezit uklízený prostor a ohraničit jednotlivé místnosti. Funguje na principu neviditelné zdi, za niž se robot nedostane.

Můžeme tak místnosti rozdělit nebo od sebe oddělit.

AutoVirtual Wall - Pomocí systému Auto Virtual Wall lze vymezit uklízený prostor a ohraničit jednotlivé místnosti.

Časové programování - Nastavení robota na konkrétní datum i čas úklidu, lze přidat funkci pravidelného opakování.

Antitangle - Program zabráňující uvíznutí robota v kabelech.

Spot - Program pro důkladný úklid vytipovaného místa o velikosti cca 1m²

SONORO - Aktivní detekce nečistot.

Pet Kit - Je určen pro důkladný úklid po domácích mazlíčcích. Pet kit obsahuje Pet velkokapacitní zásobník a Extra Cleaning Tool pro snadné čištění

Wireless Command Center - Slouží k dálkovému ovládání robota, ovšem na rozdíl od IR dálkového ovládání nemusí mít přímý výhled na stroj, signál přenášen elektromagnetickým vlněním.

Virtual Wall Lighthouse - Vymezí uklízený prostor a ohraničí jednotlivé místnosti. Oproti modelům Roomba 521, 534 Pet, 555, 564 Pet disponuje model ROOMBA 581 systémem Virtual Wall Lighthouse, který robota „uzamkne“ v jediné místnosti a pustí jej do další teprve v okamžiku, kdy je první místnost uklizená. Tento systém zefektivní orientaci robota a urychlí cyklus úklidu. Oba systémy fungují na principu neviditelné zdi, za níž se robot nedostane.

2.1.1 Vysávací roboty

					
Model	Roomba 521	Roomba 534	Roomba 555	Roomba 564	Roomba 581
Rozměry	330x93mm	330x93mm	330x93mm	330x93mm	330x93mm
Hmotnost	3,6Kg	3,6Kg	3,6Kg	3,6Kg	3,6Kg
Plocha	3 pokoje (90m ²)	3 pokoje (90m ²)	4 pokoje (120m ²)	4 pokoje (120m ²)	4 pokoje+ (150m ²)
Manual virtual wall	Lze dokoupit	1Ks, Lze dokoupit	Lze dokoupit	Lze dokoupit	Lze dokoupit
Auto virtual wall	Lze dokoupit	Lze dokoupit	1Ks, Lze dokoupit	2Ks, Lze dokoupit	Lze dokoupit
Virtual wall lighthouse	Ne	Ne	Ne	Ne	3Ks
IR dálkové ovládání	Lze dokoupit	Lze dokoupit	Lze dokoupit	Lze dokoupit	Ano
Wireless command centre	Ne	Ne	Ne	Ne	Ano
Základnová stanice	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano

Časové programování	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
Cena	7990	9990	10990	11990	13990

Tabulka 1 Přehled iRobot

2.1.2 Vytírací robot Scooba

iRobot SCOOBA 385 byla pro své vlastnosti oceněna v prestižní soutěži o nejlepšího domácího robota na vytírání podlahy. SCOOBA 385 Slouží pro mokrý úklid a představuje tak ideální doplněk robotů řady ROOMBA. V současnosti jediný autonomní robot pro mokrý úklid.

SCOOBA vyčistí Vaši podlahu pomocí čtyřfázového čistícího programu – předvysání (Před použitím Scooby je však třeba zamést, nebo vysát, ideálně vypustit Roombu), mytí, čištění, vysání špinavé vody. Při vytírání je na podlahu automaticky aplikován vždy pouze čistý roztok vody a SCOOBA Juice s antibakteriálními účinky. Špinavá voda je podtlakovou lištou vysávána do speciální sběrné nádrže. Nedochází tak k rozstřikování znečištěného roztoku a celý proces je hygienický. Je důležité říci, že všechny fáze čistícího procesu probíhají současně, a tak za Scoobou zůstává čistá, avšak mírně mokrá podlaha.

Virtual Wall1ks

Infračervené proximní snímače

Rozeznává výškové rozdíly - pád ze schodů

IR dálkový ovladačlze dokoupit

Doba nabíjení 4 hodiny

Kapacita baterie Ni-Mh, 4100 mAh

Spotřeba přizabíjení max 40W

Spotřeba Stand by max 2W

Hlučnost <80dB

Doporučeno na 3 pokoje (80m²) na jedno nabití, 40m² na jednu nádrž

Rozměry 330 x 80 mm, výška při úklidu 93 mm

Hmotnost 3,7 Kg

CENA: 11990,-

2.2 iClebo

- Časovač začátku úklidu, jednou je nastaven čas začátku úklidu a iClebo bude v daný čas uklízet každý den.
- Automatické nabíjení po skončení vysávání. Pokud se baterie vybijí v průběhu úklidu iClebo najde základnu a nabije se. Poté dokončí započatý úklid.

- iClebo Plus je vybaven bezdotykovým nárazníkem. 7 IR senzorů v nárazníku detekuje objekty před sebou v průběhu úklidu a nenarazí do nich.
 - Všechny modely disponují vysokým sacím výkonem (až 70W).
- „iClebo systém 4“ - algoritmus pohybu robota v prostoru, vyhýbání se překážkám.
- „Silence technology“ tichý provoz vysavače.
- „Mopping“ - funguje jako inteligentní mop, který rozlišuje překážky vysoké 5 mm a nenajíždí na ně, např. na koberec. Využívá mop, který je vyroben z mikrovláknů.
- stop side brush** – systém hlídající činnost bočních kartáčků působící proti zamotání.
- Systém přejezdu nerovností** – Umožňuje určit maximální výšku překážky, kterou robot přejede.

			
Model	iClebo plus	iClebo Home eco	iClebo Home
Rozměry	350x100mm	350x100mm	350x100mm
Hmotnost	3,9Kg	3,9Kg	3,9Kg
Výdrž akumulátoru	90min	90min	180min
Sys. Přejezdu nerovností	Lze dokoupit	Ano	Ano
IR dálkové ovládání	Ano	Ano	Ano
Mop	Ne	Ano	Ano
Základnová stanice	Ano	Ano	Ano
Časové programování	Ano	Ano	Ano
Cena	7990	9990	10990

Tabulka 2 Přehled iClebo

2.3 Samsung

Visionary Mapping™ - NaviBot je vybaven zabudovanou kamerou, která pomocí tohoto systému vytvoří mapu vašeho obytného prostoru (pohledem na strop) a navrhne a zapamatuje si nejlepší možnou trasu pro vysávání.

Virtual Guard™ - nabízí dvě praktické možnosti, jak chránit vaše prostory. Stisknutím tlačítka můžete aktivovat virtuální zábranu, která NaviBotu nedovolí vstoupit do míst, kam nechcete. Nebo můžete zvolit režim Virtual Guard. NaviBot pak vyčistí jednu místnost, po dokončení teprve další a to v zadaném pořadí.

- Při přerušení činnosti z důvodu vybití baterie, se po nabití robot vrátí na stejné místo, kde ukončil úklid před nabíjením.
- Zvládne zvířecí chlupy, vlákna a další nečistoty
- Omyvatelný filtr HEPA filtrující jemné částičky, které mohou vyvolávat příznaky alergie a astmatu.
- Rozpozná okraje schodů.
- Je také vybaven třemi čidly proti namotání, díky kterým se automaticky uvolní z kabelů nebo kobercových trásní, které mu přijdou do cesty.
- Pokud je NaviBot zvednut nebo se převrátí, jeho čidlo zvednutí jej automaticky vypne.
- Automatické vyrovnávání – zajištění dobrého výkonu i při najetí na nerovnosti (nerovná podlaha, kabely..)

		
Model	Navibot 8845	Navibot 8855
Rozměry	350x100mm	360x92mm
Výdrž akumulátoru	90min	90min
Virtuální zeď	1x, Lze dokoupit	2x, Lze dokoupit
IR dálkové ovládání	Ano	Ano
Základnová stanice	Ano	Ano
Časové programování	Jen odložený start	Ano
Cena	10990	12990

Tabulka 3 Přehled Samsung

2.4 Cleanmate

- Robotický vysavač CleanMate QQ-1 je vybaven 3-fázovým systémem úklidu, během kterého vysává, kartáčuje a desinfikuje. Zabudovanou UV výbojku je vhodné používat v průběhu uklízení ke zničení bakterií.
- Na boku vysavače je umístěn rotační kartáček, který vymete veškerý prach a špínu podél rohů stěn.
- omyvatelný prachový filtr
- CleanMate dálkový ovladač - navigace, nastavení doby uklízení, volba pohybových módů, UV světlo a nebo ukončení práce vysavače dřív, než je nastavená doba.
- Vestavěné senzory na spodní straně vysavače zabrání jeho spadnutí ze schodů

			
Model	CleanMate QQ1	CleanMate QQ2	CleanMate QQ2L
Rozměry	350x90mm	350x90mm	350x90mm
Hmotnost	2,7Kg	2,7Kg	2,7Kg
Výdrž akumulátoru	70-80min	70-80min	70-80min
IR dálkové ovládání	Ano	Ano	Ano
LCD	Ne	Ne	Ano
Základnová stanice	Ne	Ano	Ano
Časové programování	Ne	Ne	Ne
Cena	4990	5990	6490

Tabulka 4 Přehled Cleanmate

2.5 Ecovacs

- Automatický návrat do nabíjecí stanice při vybití akumulátoru.
- Možnost opakování úklidu každý den.
- Postraní boční kartáček.

				
Model	Ecovacs D54	Ecovacs D56	Ecovacs D58	Ecovacs D73
Rozměry	335x98mm	335x98mm	335x98mm	335x98mm
Hmotnost	3,5Kg	3,5Kg	3,5Kg	3,5Kg
Výdrž akumulátoru	55min (80m2)	80min (110m2)	80min (110m2)	80min (120m2)
Magnetická páska	Ne	Ne	Ano	Ano
Virtuální zeď	Lze dokoupit	Lze dokoupit	Ano	Ano
IR dálkové ovládání	Ne	Ne	Ne	Ano
SD karta a multimedia	Ne	Ne	Ne	Ano

Základnová stanice	Ano	Ano	Ano	Ano
Časové programování	Ne	Omezeně	Ano	Ano
Cena	6990	8990	11990	12990

Tabulka 5 Přehled Ecovacs

2.6 Fun Beat

- Možnost nastavení automatického úklidu ve zvolené dny a časy. Vysavač má 3 automatické režimy úklidu + funkci časování s odloženým startem: Spot - efektivní čištění silně znečištěných míst, Standard - vhodné pro běžný úklid, Max - výkonný režim vhodný pro úklid více znečištěných místností nebo celého bytu.
- Dva protiběžné kartáče.
- Boční kartáč.
- Vysavač má dokovací stanici, kde se automaticky dobíjí po každém úklidu. Pomocí dálkového ovládání lze spouštět jednotlivé režimy, navést robota na více znečištěná místa nebo zaparkovat do dokovací stanice.
- Inteligentní systém zabraňující uvíznutí na hůře přístupných místech.
- Na předním nárazníku zabudováno čidlo, zabraňující prudkým nárazům do překážek.
- Čidla zabraňující pádu ze schodů.
- Prostor pro úklid lze vymezit pomocí funkce "Virtuální zeď". Ta rozdělí místnost na jednotlivé zóny a vysavač se pohybuje pouze v určeném prostoru.

		
Model	VacuSmart 600	VacuSmart 700
Rozměry	340x90mm	360x92mm
Výdrž akumulátoru	70-80min	110min
Hmotnost	2,9Kg	3,2Kg
Virtuální zeď	Ano	Ano
IR dálkové ovládání	Ano	Ano
Základnová stanice	Ano	Ano
Časové programování	Ano	Ano
Cena	5990	7490

Tabulka 6 Přehled Fun Beat

2.7 Goddess

- Robotické vysavače Goddess nemají rotační kartáč, toto způsobuje horší vysávací vlastnosti těchto modelů.
- Nejlevnější model na českém trhu, který využívá systému rotujícího kartáče je model CleanMate QQ-1.

				
Model	Goddess CL190	Goddess CL390	Goddess CL490	Goddess CL590
Rozměry	340x95mm	340x95mm	340x95mm	340x95mm
Hmotnost	3,4Kg	3,4Kg	3,5Kg	3,5Kg
Výdrž akumulátoru	60min	60min	60min	100min
Mop	Lze dokoupit	Lze dokoupit	Ano	Ano
Virtuální zeď	Ne	Ne	Ano	Ano
IR dálkové ovládání	Ne	Ano	Ano	Ano
Základnová stanice	Ne	Ne	Ano	Ano
Časové programování	Ne	Ne	Omezeně	Ano
Cena	4490	5990	5990	7990

Tabulka 7 Přehled Goddess

2.8 Robzone

- Úklidový program začíná pohybem do spirály tak, aby pokryl co nejvíce volnou plochu pokoje. Poté změni pohyb na rychlé střídání směru a začne se přemisťovat do jiné části místnosti. Poslední způsobem uklízení systému je pohyb podél zdí, kdy vysavač důkladně objíždí stěny, nábytek a různé překážky a bočním kartáčkem vymete všechny nečistoty.

Intenzivní automatický program

Uklízení program, kdy vysávání trvá po celou dobu výdrže kapacity baterie, tzn. 90 - 120 min. (dle náročnosti terénu a typu podlahové krytiny). Po skončení úklidu vysavači zbývá 15% zbytkové energie, kterou využije pro nalezení nabíjecí základny a začne se automaticky nabíjet.

Dokáže uklidit standardní prostor o rozměru až 100 m².

Program Full-Go

Tento program zajistí opakovaný úklid vždy po úplném nabití baterie. Je vhodný pro větší prostory nebo více znečištěné povrchy, kterým nestačí jeden uklízení cyklus k dosažení kvalitního úklidu.

Charge

Při povelu "Charge" vysavač začne automaticky hledat nabíjecí základnu. Zaparkuje se a dobije energii.

- Boční infračervené senzory v nárazníku zabraňují prudkému narážení do předmětů.
- Spodní infračervené senzory robota jej chrání před pádem ze schodů.
- Pokud se robotický vysavač někde zapíchne Robee vycouvá.

					
Model	Robee	Robee Plus	Robee Emotion	Roomy Silver	Roomy Gold
Rozměry	340x90mm	340x90mm	340x90mm	350x110mm	350x110mm
Hmotnost	3,9Kg	3,9Kg	3,9Kg		
Výdrž akumulátoru	60min	60min	60-90min	80min	80min
Vizuální Zed'	Ne	Ano	Ano	Ano	2x
IR dálkové ovládání	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano
Základnová stanice	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano
Časové programování	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano
UV	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
Mop	Ne	Ne	Ne	Ne	Ano
Cena	5800	7560	8990	10490	11590

Tabulka 8 Přehled Robzone

2.9 Zhodnocení řešerše

V této řešerši byly uvedeny parametry a vlastnosti produktů mnoha výrobců, nikoliv však všech. Ze zjištěných parametrů, vlastností a možností jednotlivých robotických vysavačů lze konstatovat, že ne všechny odpovídají představě o tom, čeho by takový robot měl být schopen. Levnější modely nemají dokovací stanici, je tedy nutné je po vybití akumulátoru připojit na nabíječku ručně. Levnější modely také nemají funkci časového programování a je tedy nutné je rovněž zapínat ručně. Toto je velká nevýhoda oproti plně automatickým modelům. To, že nižší modely je nutno připojovat k nabíječce ručně, není až takový problém, jako absence časového programování. Předpokládá se, že majitel robotického vysavače chce, aby robot dělal vše automaticky a on se tak nemusel o nic starat (kromě vyprazdňování smeti a výměny filtrů). Cenový rozdíl mezi plně automatickými modely a modely bez časového programování je zhruba 1500-2500Kč.

Nejlevnější plně automatické modely:

iRobot:	Roomba555	10990,-
iCleo	plus	10890,-
Samsung	Navibot8845	10990,-
Ecovacs	D56	8990,-
Fun Beat	Vacuummart700	7490,-
Goddess	CL490	5990,-

Co se týká kvality zpracování, funkčnosti, řídicích algoritmů, možností, hlučnosti a čistící efektivity jednoznačně vedou firmy iRobot, iCleo a Samsung. Některé modely (například nejnižší modely firmy Goddess, Sencor) nemají rotační kartáče. Absencí rotačních kartáčů se stávají prakticky nepoužitelné pro úklid. Nízký výkon sacího zařízení, který je sice srovnatelný s ostatními modely, ale nedokáže řádně vyčistit jakýkoliv povrch. Sací zařízení slouží v zásadě ke sběru prachu zvířeného kartáči. Další věcí je, že je důležité, aby byl oddělen prostor pro nečistoty sbírané kartáči a sacím zařízením. To z toho důvodu, aby se zbytečně nezanášel filtr v sací části a tím nesnižovala účinnost sání. Některé modely (Goddess) nemají HEPA filtr. Toto je vzhledem k cenám ostatních robotů na stejné úrovni provedení nevýhoda, cena je srovnatelná.

Některé modely mají UV výbojku pro desinfekci povrchů. Tato UV výbojka je však pouhým marketingovým tahem, nemá vzhledem ke svému nízkému výkonu, krátké expozici povrchu a nestejnoměrnosti expozice (výbojka není po celé délce čištěné stopy) většího významu

Co se týká navigace, pak problémem bez rozdílu všech uvedených robotů je, že na zcela černých nebo velmi tmavých podlahách, mohou mít IR snímače podlahy potíže. Detekují tento povrch jako „schod“ a robot se nemusí rozjet vůbec. Ze schodů však spadnout nemůže.

Z firem iRobot, iClebo a Samsung vynikají výrobky jednotlivých firem každé v jiné oblasti. Firma iRobot vyniká v precizním řídícím algoritmu, senzorickém systému, univerzálnosti, modulovosti, vysoce kvalitním čistícím systému ale také například k možnosti zakoupení speciálních modelů, určených pro úklid po domácích mazlíčcích. Výrobky firmy iClebo vynikají možností sacího zařízení, které jsou znatelně vyšší, než u ostatních výrobců. Tyto roboty mohou mít výkon sacího zařízení až 70W, oproti 30W u ostatních výrobců. Na takto vysoký výkon je ovšem sání nastaveno pouze v případě vyššího znečištění, kvůli výdrži akumulátorů. Firma Samsung vyniká v navigačním systému. Jako zatím jediná firma na trhu používá pro navigaci kameru. Tato kamera zabírá strop místnosti a z obrazu je pak vytvořena mapa, pro kterou je navržena trasa robota.

3 MECHANICKÁ KONSTRUKCE ROBOTA

Návrh a výroba mechanické konstrukce tohoto zařízení nepatří mezi triviální záležitosti. Pro její výrobu je také nutné mít přístup k materiálu a obráběcím strojům. Návrh mechanické konstrukce by také zabral velké množství času. Proto byla oslovena firma iRobot. Firma iRobot poskytla pro vývoj mechanickou konstrukci robota za účelem pomoci při vývoji tohoto zařízení. Poskytnuta byla kompletní mechanická konstrukce modelu Roomba 581, který je nejvyšší v řadě. Jedná se v zásadě o robota, ze kterého je odstraněna veškerá řídicí elektronika a senzorické vybavení. Poskytnut tak byl podvozkový rám včetně kol, převodů a pohonů kol, čistící zařízení (soustava rotačních kartáčů – zde umístěn senzor nečistot – nelze oddělit, nádoba na nečistoty, vysávací turbína a její pohon, filtrační systém), boční kartáček s jeho pohonem, nárazník včetně tlumičů nárazu a všesměrové stabilizační kolo.

Podvozek je řešen jako klasický diferenciální podvozek s jedním všesměrovým stabilizačním kolem. Hnaná kola jsou odpružena tak, že když robot stojí na rovném povrchu, kola doléhají téměř na doraz. V okamžiku, kdy najede na nerovnost a kolo nadskočí, pružiny zajistí kontakt s povrchem a tlumený návrat do původní polohy.

Mechanická konstrukce je řešena modulově tak, aby případnou opravu bylo možno řešit pouhou výměnou jednotlivých modulů. Moduly jsou: modul pohonu (levý, pravý), modul bočního kartáčku, modul rotačních kartáčů, akupack, sběrná nádoba na smetí. V případě poruchy nebo poškození některé součásti, jsou náhradní díly běžně k zakoupení ve specializovaných prodejnách. Cena modulů je přiměřená jejich funkci a účelu. Výměna náhradních dílů je intuitivní a snadná.

4 NÁVRH ROBOTICKÉHO VYSAVAČE

4.1 Prvotní představa

Při vývoji takto komplexního zařízení, je vhodné utvořit nějakou prvotní představu o konečné verzi prototypu. Co by prototyp měl umět, jak by se měl orientovat v prostoru, jaké bude využívat technické prostředky, jak tyto prostředky budou spolupracovat, případně komunikovat s uživatelem, jaké by mohly nastat potíže při vývoji, či chodu zařízení.

Tato prvotní představa o robotickém vysavači je taková, že robot by měl být schopen zcela autonomně řešit co největší množství situací a požadavků tak, aby nutnost zásahu uživatele byla minimální. Samozřejmostí je tedy automatické vyhledávání základny a časové programování. Vhodné by také bylo, aby robot uměl rozpoznat ohraničení místnosti tak, aby nebylo nutné použití externích navigačních prostředků, jako jsou magnetické pásy nebo zařízení jako virtual wall, nebo byla omezena jejich nutnost použití na minimum. Toto je relativně složitý úkol, nicméně by jej bylo možno řešit sofistikovanějším uživatelským rozhraním.

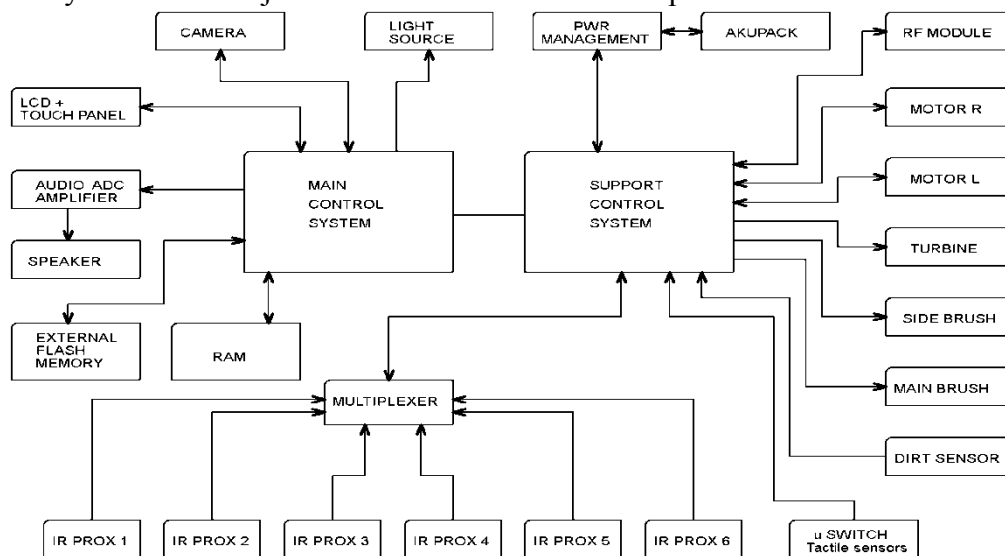
Toto uživatelské rozhraní by mohlo být realizováno jako dotykový LCD display, kde by bylo možno zobrazit časový rozvrh úklidu, stav nabití akumulátoru nebo také předpokládaná nutnost výměny filtru. Na tomto panelu by však mohl být zobrazen nákres nebo plán uklízených prostor, kde by uživatel mohl robotu zakreslit hranice, za které robot nesmí vůbec, nebo za které smí až po dokončení úklidu v nějaké oblasti. Robot by tak při prvním spuštění v nových prostorách zmapoval uklízený prostor a poté by uživatel mohl využívat této funkce. Není nezbytně nutné, aby toto rozhraní bylo umístěno přímo na robotu. Bylo by například možno je umístit na nějakou sofistikovanější formu dálkového ovladače.

Navigační HW robota bude tvořen infračervenými proximitními snímači, jimž se věnuje další kapitola tohoto dokumentu, dále pak nárazníkem s mikropsínači. Tento nárazník bude plnit funkci poslední možnosti detekování překážky, pokud nebude překážka detekována dříve jiným systémem a zároveň také jako potvrzení překážky – zpomalený dotek. Dále se předpokládá provedení experimentů s kamerou a navigací pomocí kamery. Kamera může plnit funkci měření vzdálenosti, jedna z možností je použití nějakého zářiče, který zobrazí na dopadovou plochu nějaký definovaný obrazec, jehož rozměry budou pomocí kamery a jejího softwaru změřeny, a z těchto rozměrů může být vypočítána vzdálenost. Výhodou tohoto řešení by bylo, že kamera by zachytila i překážky malých rozměrů, například nohy stolů a židlí.

Pohyb robota v prostoru je předpokládán systematický, kdy robot nejprve objede celou místnost dokola pro určení jejích hranic a rozměrů, přičemž se vyhne překážkám a prostorům, do kterých má zakázán přístup a poté začne systematickým pohybem projíždět místností. Pokud by v robotu byl implementován systém uživatelského zadávání ohraničení prostoru, pak po prvním průjezdu robota prostorem by již robot měl místnost sice zmapovanou, nicméně by se mohlo stát, že by byl přemístěn například do jiného bytu. V případě, že by robot zjistil, že se nenachází ve zmapovaném prostoru, uložil by do své paměti mapu novou.

4.2 Blokové schéma robota

Blokové schéma znázorňuje hierarchii jednotlivých systémů robota. Tou je použití dvou mikrokontrolerů, z nichž každý bude mít na starost zcela odlišné úlohy. Hlavním mikrokontrolerem bude Atmel řady Cortex, který bude mít na starosti navigaci robota, mapování prostoru, čtení a zapisování map z paměti, čtení dat z kamery a jejich zpracování, zobrazování výstupů na LCD a čtení dat z touch panelu a audio výstup. Podpůrný mikrokontroler bude rovněž Atmel, tentokrát řady Mega 128. Tento bude mít na starosti sběr a vyhodnocování dat z IR proximních snímačů, taktilních mikropsínačů, ovládání pohonů a snímání rychlosti, ovládání vysávacích zařízení, bude také určovat, kdy je třeba vyměnit či vyčistit prachový filtr. Dále bude vyhodnocovat data ze snímače nečistot. Důležitou úlohou sekundárního řídicího systému bude PWR management. Tedy výpočet výdrže akumulátorů, měření aktuální spotřeby (pohony motorů, celková spotřeba, kontrola a řízení nabíjení akumulátorů), ale také bude zajišťovat bezpečný provoz robota. Tím je myšlena kontrola teploty akumulátorů, výkonových prvků, zajištění zastavení kol při nadzvednutí robota, kontrola proudu tekoucího z akumulátorů a kontrola nabíjecího procesu. Dalším úkolem sekundárního řídicího systému bude zajišťování komunikace s okolím pomocí RF modulu.



Obr. 1 Blokové schéma robota

5 NÁVRH PROXIMITNÍCH SNÍMAČŮ

Pro návrh proximního snímače vhodného pro tuto aplikaci lze v podstatě použít dvou možností. První možností je ultrazvukový proximní snímač, druhou možností pak infračervený proximní snímač. Vzhledem k rozměrům robota není například možné použít například LASERový dálkoměr. U ultrazvukových proximních snímačů je však problém se zvířaty, které ještě kmitočty používané u běžných proximních snímačů slyší. Například psi slyší zvuk o kmitočtu více jak 40KHz, kočky 60KHz, hlodavci dokonce až 80KHz. Ptáci zřejmě ultrazvuk neslyší. Běžné ultrazvukové proximní snímače však pracují na kmitočtu 40KHz. To znamená, že by činnost robota obtěžovala domácí mazlíčky. Existují samozřejmě ultrazvukové elementy, které pracují na vyšších kmitočtech (například 100KHz), ovšem tyto komponenty jsou již velmi drahé a vzhledem k tomu, že by jich bylo použito více, by se jejich použití ekonomicky nevyplatilo.

[10], [11].

Pro robotický vysavač tedy byly zvoleny jako nejvhodnější infračervené proximní snímače. Snímač může být realizován jako intenzitní, kdy je vysílačem vyzařováno infračervené světlo, které je snímáno a na základě velikosti snímaného signálu je určena vzdálenost, či pouze zda je před snímačem překážka nebo volný prostor. Nebo je možno snímač realizovat jako diferenciální, kdy jedna LED dioda emituje IR záření a dva, nebo více fotodetektorů měří odražené záření. Z poměru signálů fotodetektorů se pak vypočítá vzdálenost objektu. Diferenciální IR proximní snímač je však náročný na výrobu co se týká přesnosti uložení fotodetektorů a vysílací diody. Tyto součásti musí být od sebe v definované vzdálenosti. Čím přesněji je snímač vyroben, tím přesnější hodnoty udává. Pokud by diferenciální snímač byl zakoupen, pak jeho cena se pohybuje okolo 250 Kč a při použití čtyř kusů poněkud narostou náklady. Další vývoj proximního IR snímače se tedy zabývá intenzitních proximních IR snímačů.

[10], [11],[12], [13]

5.1 Intenzitní proximní snímač

Jak již bylo řečeno, intenzitní proximní snímač pracuje tak, že infračervený vysílač (nejčastěji LED dioda) emituje záření, které dopadá na nějakou překážku, od které se odráží a fotodetektor snímá intenzitu odraženého záření. Nevýhodou tohoto principu snímání je, že fotodetektor snímá také okolní záření, což značně ovlivňuje měření. Tento problém lze snadno řešit modulací vysílaného záření. Vysílač tedy vysílá modulované záření (postačí generátor obdélníkového signálu a spínač, který zářič spíná), fotodetektor snímá jak modulovaný signál, tak okolní záření mající stejnosměrný charakter. Stejnosměrná složka je pak vyfiltrována a signál usměrněn. Tímto způsobem je odstraněn vliv okolního záření. Může se však stát, že okolní záření saturuje

fotodetektor a tak bude měření znehodnoceno. Velkým problémem však je, že různé materiály mají různou odrazivost, různou pohltivost a různý rozptyl světla na různých vlnových délkách. Také plocha materiálu, na kterou emitované záření dopadá, ovlivňuje měření, stejně jako úhel, pod kterým záření dopadá na cíl. Všechny tyto aspekty budou zkoumány v důkladném měření uvedené v kapitole 6.

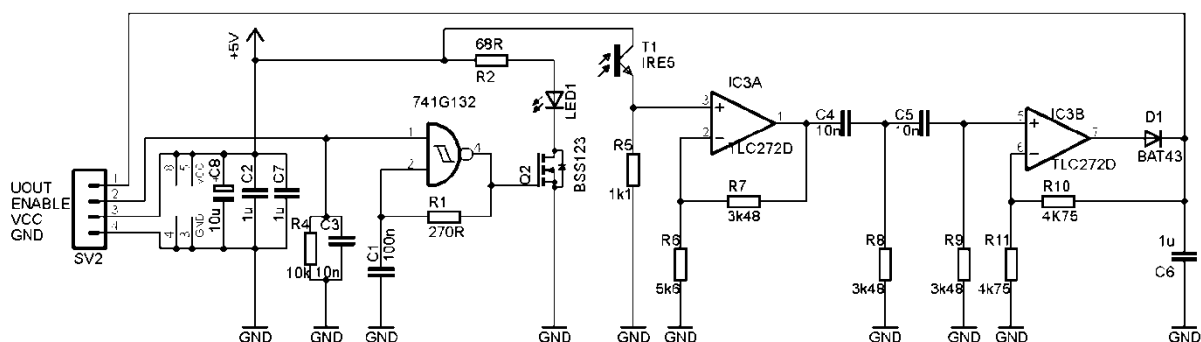
5.2 Schéma zapojení snímače

Jak již bylo řečeno, snímač se skládá z generátoru obdélníkového signálu, který je realizován pomocí Schmittova klopného obvodu NAND. Kmitočet oscilátoru je nastaven na 15KHz. Druhý vstup klopného obvodu slouží jako ENABLE. Tímto signálem bude zapínáno nebo vypínáno vyzařování LED diody. To z toho důvodu, aby se navzájem neovlivňovaly jednotlivé senzory (v jeden okamžik bude měřit vždy pouze jeden proximity sensor). Infradiodou byl zvolen proud poměrně vysoký 45-50mA, to proto, aby byl zvýšen dosah senzoru. Jedná se o impulzní proud, jehož střední hodnota je tedy při 50%střídě poloviční. Protože infradiody obecně vydrží proudy okolo 60-100mA trvale, je zde ještě poměrně vysoká rezerva. Jako fotodetektor byl zvolen fototranzistor, kterým při plném otevření protéká proud maximálně 5mA. Na rezistoru R5 je napětí odpovídající velikosti odraženého záření. Toto napětí je zesíleno neinvertujícím zesilovačem se zesílením 1,62. Zesilovačem je operační zesilovač TLC272. Jedná se o běžný unipolární operační zesilovač semi rail-rail. To znamená, že jeho výstup může dosahovat i úrovně záporné napájecí větve, v tomto případě tedy GND. Takto zesílený signál je filtrován horní propustí druhého řádu, která je naladěna na kmitočet 4,5KHz. Filtrací je odstraněna stejnosměrná složka způsobená okolním zářením. Vyfiltrovaný signál je usměrněn aktivním půlvlnným usměrňovačem se zesílením 4. Usměrněný signál je filtrován dolní propustí s časovou konstantou 9,5ms.

Napájecí napětí je filtrováno dvěma 1uF keramickými kondenzátory a jedním 10uF tantalovým kondenzátorem a je vyžadováno 5V. Relativně velká kapacita je použita z toho důvodu, že oscilace napájecího napětí způsobené spínáním infradiody mohou zkreslit výsledek měření (offset).

Postupně byly testovány IR LED diody TSAL 6100 a TSAL5100 a fototranzistory IRE5, HPTB5-14D-B a BPV11F ve všech kombinacích. Infradiody byly voleny s úzkou vyzařovací charakteristikou (okolo 10°). To z toho důvodu, že svazek má nižší rozptyl, tedy na povrch překážky dopadne do užšího místa stejné množství záření a do fototranzistoru se odrazí větší množství fotonů. Dalším důvodem je, že při velkém rozptylu by došlo k odrazům od podlahy, což je nežádoucí. Fototranzistory byly voleny s o něco větším rozptylem citlivostní charakteristiky (okolo 20-30°). To z toho důvodu, aby s jistotou zachytily odražené fotony od překážky.

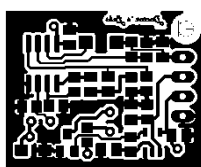
[12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21]



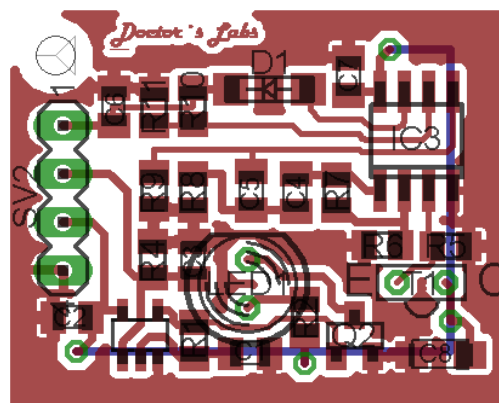
Obr. 2 Schéma IR proximity snímače

5.3 Deska plošných spojů snímače

Při návrhu desky plošných spojů byl kladen důraz na co nejmenší rozměry. Prostoru pro snímač v těle robota totiž není mnoho. Deska plošných spojů je vyobrazena v měřítku 1:1 a obrazec je zrcadlově otočen, tedy připraven pro tisk. Aby nebylo nutné použití druhé vrstvy, nachází se na desce tři drátové propojky, které vedou napájecí napětí a jsou v montážním schématu značeny modrou barvou. Na desku budou přímo zapájeny všechny vodiče, na jejichž konci bude teprve konektor pro připojení k řídicí desce. Konektor na snímači není nutný a zabírá další prostor. Fototranzistor a IR LED dioda jsou osazeny z druhé strany desky. Je tedy třeba dát při výrobě pozor na správné zapojení vývodů.



Obr. 3 DPS snímače 1:1



Obr. 4 Snímač-montážní schéma

5.4 Snímač – Partlist

Part	Value	Package	Library	Position (mm)	Orientation
C1	100n	C0805K	rcl	(38.2969 29.2607)	R180
C2	1u	C0805K	rcl	(29.0005 31.1531)	R180

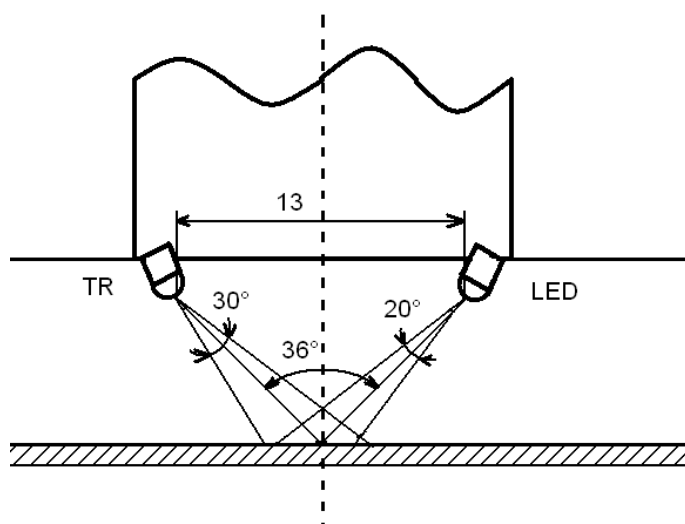
C3	10n	C0805K	rcl	(35.3504 34.1694)	R90	
C4	10n	C0805K	rcl	(40.6908 37.7444)	R270	
C5	10n	C0805K	rcl	(38.3667 37.8206)	R90	
C6	1u	C0805K	rcl	(31.1785 42.2656)	R270	
C7	1u	C0805K	rcl	(43.4467 43.8531)	R90	
C8	10u	SMC_A	rcl	(48.26 29.21)	R180	
D1	BAT43	SMA-DO214AC	diode	(39.2938 43.1927)	R180	
IC3	TLC272D	SO08	linear	(47.0154 40.4241)	R0	
LED1		LED5MM	led	(38.1381 32.9121)	R90	
Q2	BSS123	SOT23	transistor-small-signal	(43.7642 30.2006)	R0	
R1	270R	R0805	rcl	(35.3632 29.953)	R90	
R2	68	R0805	rcl	(41.1543 31.1656)	R270	
R4	10k	R0805	rcl	(33.2168 34.1821)	R270	
R5	1k1	R0805	rcl	(48.7871 34.8869)	R0	
R6	5k6	R0805	rcl	(45.193 34.9631)	R180	
R7	3k48	R0805	rcl	(42.8244 37.7317)	R90	
R8	3k48	R0805	rcl	(35.2933 37.7444)	R90	
R9	3k48	R0805	rcl	(33.2867 37.8205)	R270	
R10	4K7	R0805	rcl	(35.2806 42.2783)	R90	
R11	4k7	R0805	rcl	(33.2867 42.2021)	R90	
SV2		MA04-1	con-lstb	(28.5369 37.465)	R270	
T1	IRE5	LPT80A	opto-trans-siemens	(47.2694 32.9692)	R90	
U\$1	741G132	SOT23-5L	74xx-eu	(32.5438 30.2387)	R0	

5.5 IR proximní snímač podlahy

Spolehlivost podlahového snímače je velmi důležitá a to kvůli ochraně robota před pádem, například ze schodů. Jako podlahový snímač bylo použito předchozího zapojení a desky plošných spojů. Rozdíl je pouze v geometrickém rozložení vysílací diody a přijímajícího fototranzistoru. V předchozím případě měly oba prvky rovnoběžnou optickou osu. U podlahového snímače jsou však prvky umístěny dále od sebe a jejich optická osa svírá úhel 36° .

Úhel, který svírají obě optické osy, byla vypočtena ze známého rozsahu vzdáleností, ve kterém se snímač nad podlahou bude pohybovat a ze zvolené vzdálenosti obou elementů. Vzdálenost elementů byla zvolena 13mm, kvůli mechanickým rozměrům snímače a prostoru pro snímač vymezenému v těle robota.

Průmětem světelného svazku na podlahu vznikne elipsa o určité ploše, která závisí na vzdálenosti zářiče od podlahy. Poloha této elipsy vzhledem ke kolmici vedené od podlahy, procházející středem mezi elementy, závisí rovněž na vzdálenosti zářiče od podlahy. Totéž platí pro pomyslnou elipsu snímané plochy fototranzistorem. V těch vzdálenostech, kdy má být prostor pod robotem považován za pevnou zem, se tyto dvě elipsy musí krýt co možná největší plochou. Naopak pokud má robot vyhodnotit, že pod ním není pevná zem, plochy se překrývat nesmí. Pro vyzařovací úhel IR diody byl uvažován úhel, kdy intenzita záření dosahuje 50% maxima, totéž pro citlivost fototranzistoru.



Obr. 5 Snímač podlahy-princip

6 MĚŘENÍ PROXIMITNÍHO SNÍMAČE

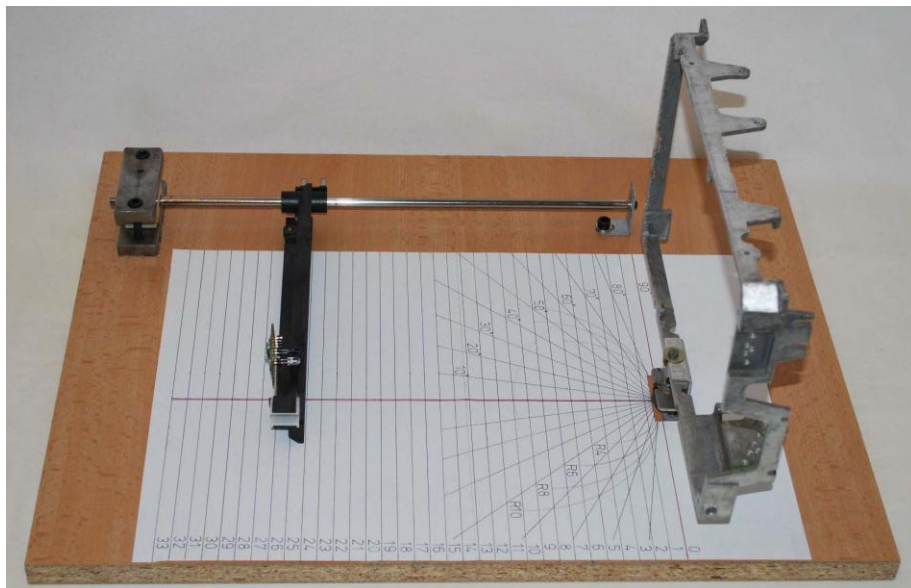
6.1 Předmět zájmu

Protože bylo nutno zmapovat chování snímače snímající překážky z různých materiálů o různých barvách, byla provedena série měření. Zkoumáno bylo pět vzorků. Vzorek č. 1 a vzorek č. 2 byl koberec s vyšším chlupem, vzorek č. 3 byl koberec s nízkým chlupem a vzorek č. 4 černý filc. Dále jako reference byl použit terč z bílého kancelářského papíru. Pro každý z těchto vzorků byly otestovány a změřeny hodnoty závislosti výstupního napětí na vzdálenosti terče a úhlu natočení terče. Tyto hodnoty byly měřeny za použití všech kombinací výše zmíněných fototranzistorů a fotodiod.

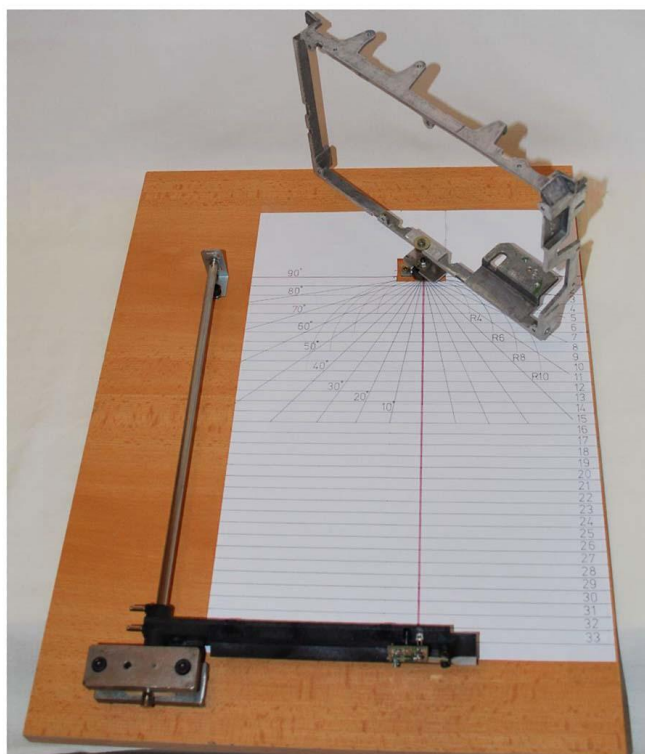
Pro tato měření byl vyroben měřicí přípravek, skládající se z posuvného ramene, za které je uchycen snímač a z otočného terče. Posuvné rameno bylo vyrobeno z lineárního ložiska ze starého scanneru, kde byla použita broušená, tyč po které se pohybovaly dva mosazné kroužky mazané tukem, umístění v plastovém rameni. Přímo k tomuto rameni byl připevněn snímač. Tyč je na jedné straně pevně přišroubována pomocí svorníku a podložek dřevotřískové desce. Na druhé straně tyče je závit, tyč je tedy přišroubována ke kousku profilu. Pomocí tohoto šroubu byla tyč nastavena rovnoběžně s plochou desky. Otočný terč je vyroben z hliníkového rámu a kuličkového ložiska. Pouzdro ložiska je připevněno k desce, rotační část k terči. Na desku byl přilepen papír s narýsovaným odměrným systémem pro snadnější odečítání a nastavování údajů.

Geometrie odměrného systému je taková, že spojnice kolmice na osu rotace terče a bodem na posuvném rameni, kde se nachází střed mezi fotodiodou a fototranzistorem je vyznačena tlustou červenou čarou, nazvěme ji optickou osou. Kolmo na tuto optickou osu jsou vyznačeny vzdálenosti od terče po 1cm dílcích. Okolo terče jsou vyznačeny úsečky otočeny vždy o 10° od optické osy. Úhlové natočení je počítáno zleva (při pohledu směrem od snímače k terči) doprava od 10° do 170° .

Měřicí přípravek je vyobrazen níže. Postupně byly testovány IR LED diody TSAL 6100 a TSAL5100 a fototranzistory IRE5, HPTB5-14D-B a BPV11F ve všech kombinacích. Vzhledem ke své rozsáhlosti, jsou veškerá naměřená data dokumentována v **příloze č. 1**. Zde jsou uvedeny pouze data jednoho z měření, které bylo klíčové při výběru infrakomponentů.



Obr. 6 Měřicí aparatura



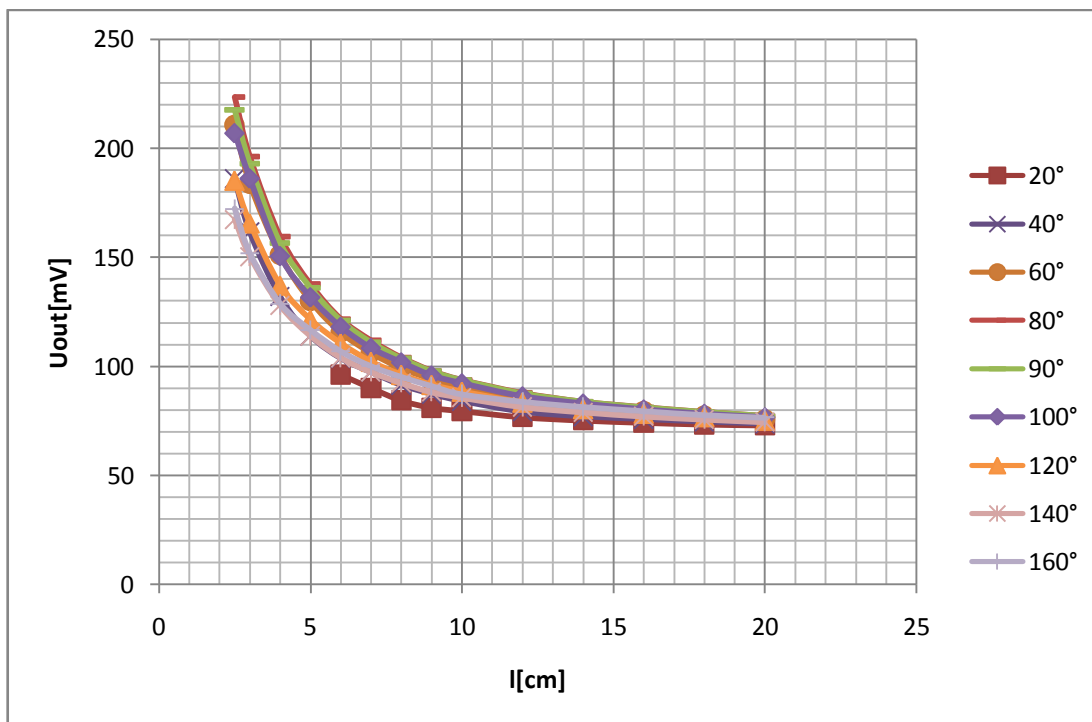
Obr. 7 Měřicí aparatura

6.2 Vyhodnocení naměřených dat

Na závislosti výstupního napětí na úhlu natočení terče, přičemž parametrem vzdálenost snímače od terče, byl ověřen předpoklad, že čím členitější povrch terče, tím menší bude závislost zachyceného záření na úhlu natočení terče vůči optické ose. Velmi patrný tento jev je při pohledu na některé z grafů této závislosti (pro jednu diodu a jeden fototranzistor) například pro vzorek č. 2 a bílý papír. Zde je jasně vidět, že tato závislost je nižší. Značným problémem je rozdíl v amplitudách výstupních napětí pro různé vzorky. Výstupní napětí při snímání bílého papíru je až šestinásobné oproti výstupnímu napětí při snímání černého filcu. Pokud by měl být práh, při kterém robot zastaví nastaven pro velmi tmavé materiály tak, aby robot zastavil ještě v přípustné vzdálenosti (okolo 5cm), pak při světlých materiálech by robot zastavoval už při vzdálenosti 15cm. Právě naměřené hodnoty pro vzorek č. 4 (černý filc) byly klíčové pro rozhodnutí použít IR LED diodu TSAL 5100 a fototranzistor HPTB5-14D-B. Aparatura používající tyto dva prvky vykazovala nejvyšší citlivost ze všech. Nevýhodou však je o něco vyšší offset. Ačkoliv jsou infradiody TSAL 5100 a TSAL6100 velmi málo odlišné (až na emisivitu-TSAL5100 větší), s IR diodou TSAL5100 je dosahováno lepších výsledků (vyšší hodnoty naměřeného napětí). Fototranzistor IRE5 pak dosahuje nejhorších výsledků, BPV11F již lepších a překvapivě HPTB5-14D-B nejlepších. Další zpracování naměřených dat se tedy bude zabývat naměřenými daty pro tuto dvojici obvodových prvků.

Uout[mV]											
l[cm]\α[°]											
	10	20	40	60	80	90	100	120	140	160	170
20		73	73,8	75,8	77,3	77,2	76,6	75,2	74,5	76,5	
18		73,4	74,7	77,4	79,1	79	78,2	76,8	75,7	77,7	
16		74,2	75,9	79,5	81,3	81,1	80,2	78,4	77,1	79,5	
14		75,2	77,1	81,4	83,8	83,7	82,9	80,5	79	81,4	
12		76,7	79,3	85,1	87,8	87,5	86,2	83,5	81,4	83,8	
10		79,5	84,2	90,2	93,8	93,6	92,2	88,5	85,7	87,2	
9		81	87,4	94,2	98	97,7	95,8	91,6	88,2	91	
8		84,3	91,5	99,1	104,1	103,6	101,8	96,2	92,4	95,2	
7		90	97,4	106,2	111,9	111	108,4	102,2	97,4	100,1	
6		96,1	103,8	115,6	121,8	121	118,1	110,6	104	106,9	
5			114,1	130	137,7	136,1	131,7	121,5	114	116,7	
4			132	151,2	159,5	156,6	150,6	137,2	127,9	128,8	
3			161,6	183,8	196,2	193	186,2	165,7	150,4	151,8	
2,5			186	210,7	223,5	217,7	207	185,3	167,3	172,3	

Tabulka 9 Naměřené hodnoty pro HPTB5-14D-B a TSAL5100

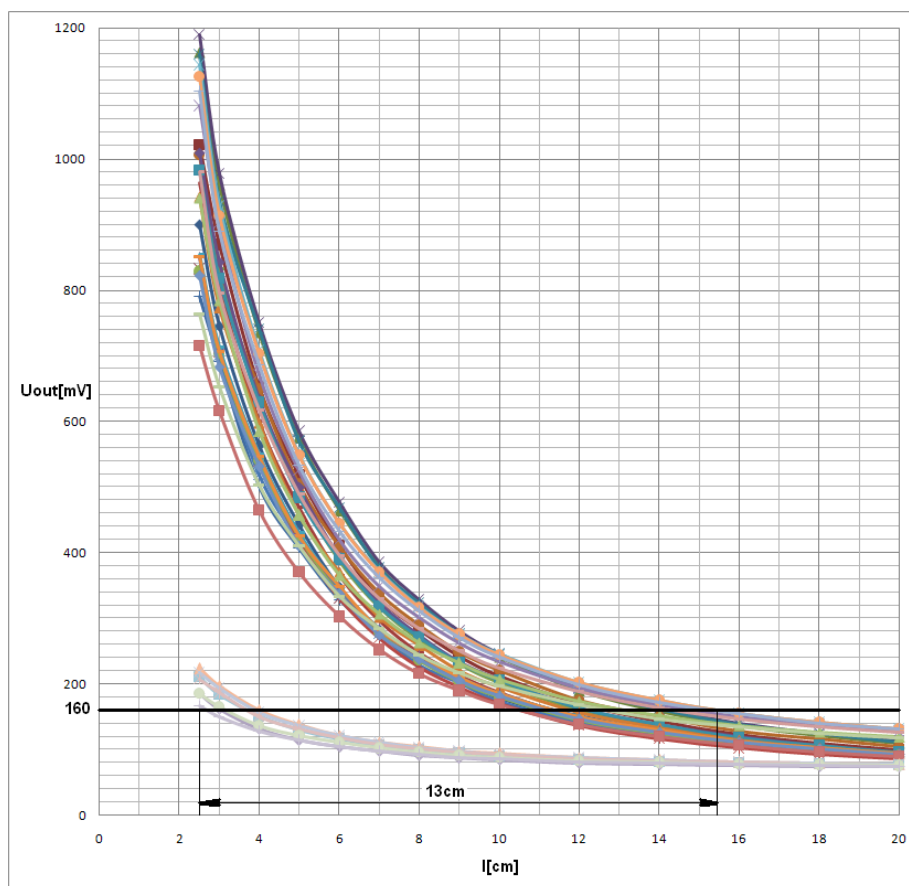


Obr. 8 Graf naměřených hodnot pro HPTB5-14D-B a TSAL5100

6.3 Zpracování naměřených dat

Jedním z hlavních úkolů snímače je poskytnout řízení data, dle kterých se robot rozhodne, zda zastavit či nikoliv. Jak již bylo řečeno, snímač reaguje na různé materiály různě. To v důsledku znamená, že pokud bude pro výstupní napětí snímače stanoven nějaký práh, od kterého bude objekt před robotem považován za překážku, robot zastaví při detekci různých materiálů v různých vzdálenostech od překážky. Nyní je otázkou, jak se bude vzdálenost pro různé materiály měnit. Na **Obr. 8** je graf závislosti výstupního napětí snímače na vzdálenosti překážky, ve kterém jsou vyneseny závislosti pro všechny vzorky v rozsahu úhlových výchylek 40-140° od optické osy (úhly nespádající do tohoto intervalu nejsou uvažovány – snímače jsou čtyři a není nutné pro orientaci robota používat větší interval). Do tohoto grafu je vynesena přímka rovnoběžná s osou, na kterou je vynesena vzdálenost. Tato přímka představuje práh pro určení, zda se jedná o překážku. Od průsečíků nejbližšího a nejvzdálenějšího průběhu jsou vedeny kolmice na osu vzdálenosti. Tento interval pak představuje rozptyl skutečných vzdáleností v závislosti na parametrech snímaného povrchu, na kterých by robot vyhodnotil objekt před sebou jako překážku a zastavil by. Je zřejmé, že takto provedené vyhodnocení dat poskytnutých snímačem nedosahuje uspokojivých výsledků. Rozptyl je příliš vysoký, robot by se tak nepohyboval efektivně, což by vedlo k prodloužení úklidu a rychlejšímu vybíjení akumulátorů. Také není mnoho prostoru pro zvolení prahu tak, aby jej protínaly všechny průběhy. Práh nelze posunout výše,

protože potom by nebyly vyhodnoceny překážky s vysokou pohltivostí, zároveň však nelze posunout práh o mnoho níže, potom by se mohlo stát, že by robot zastavoval i v případě, že by před ním překážka nebyla, nebo byla relativně hodně vzdálena. Dalším problémem tohoto vyhodnocení je, že pro velmi tmavé předměty robot identifikuje překážku až ve vzdálenosti 2,5cm. Je otázkou, zda by byl schopen zastavit na této vzdálenosti.



Obr. 9 Grafické znázornění určení vzdálenosti-metoda1

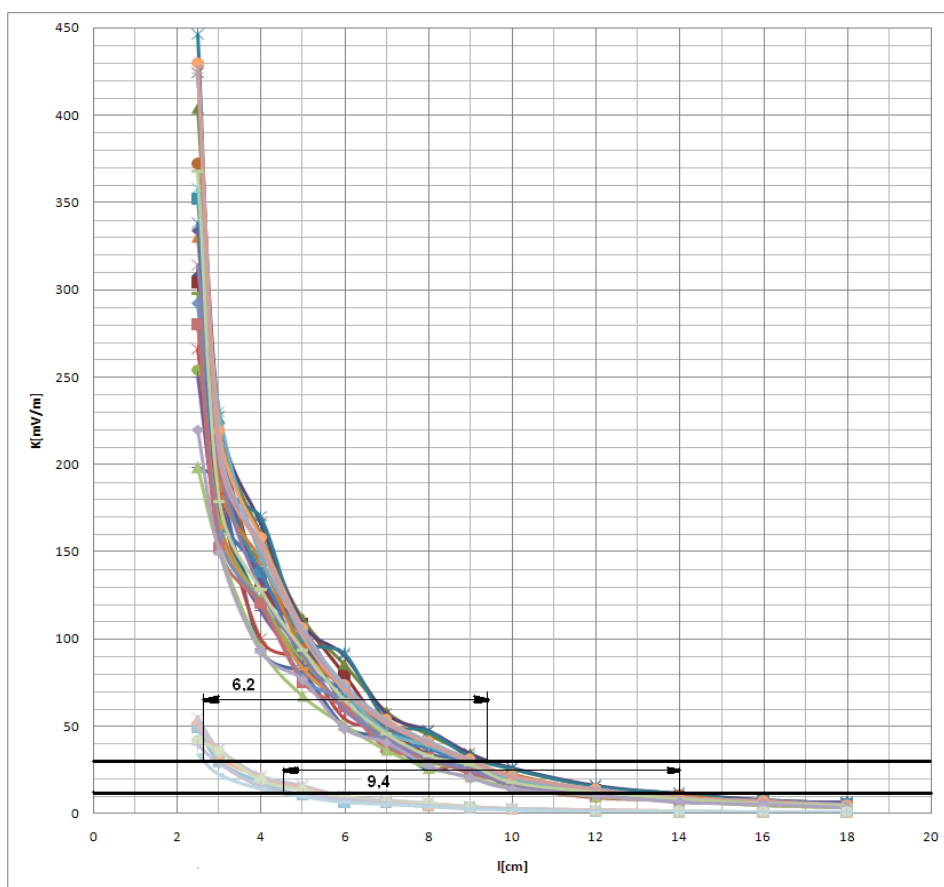
Za předpokladu, že se robot pohybuje, je možné určit v každém bodě absolutní hodnotu směrnice, která je dána hodnotou výstupního napětí ve dvou bodech a fyzickou vzdáleností, kterou robot překonal mezi měřeními. Označme vzdálenost robota v bodě B1 jako $L1$ a výstupní napětí v bodě B1 jako $U1$. V bodě B2, pak analogicky $L2$, $U2$. Robot se pohybuje z bodu B1 do B2. Skutečné vzdálenosti robota od překážky $L1, L2$ však neznáme, ale známe jejich rozdíl. Tento rozdíl je změřen robotem a označíme jej $\Delta L1$. Potom pro absolutní hodnotu směrnice $K1$ platí:

$$K1 = \frac{U2 - U1}{\Delta L}$$

Obecně potom:

$$Kn = \frac{Un - Un-1}{\Delta Ln-1}$$

Vyneseme-li vypočtené absolutní hodnoty směrnic pro všechny body všech průběhů z předcházejícího obrázku do grafu, získáme průběhy uvedené na **Obr. 9**. Do grafu jsou tentokrát vyznačeny prahy dva. Prah vyznačené v grafu na **Obr. 9** určují hranice možných nastavení prahu. V případě nastavení prahu na horní mez bude nejtmavější objekt detekován ve vzdálenosti 3,2cm a nejsvětlejší objekt ve vzdálenosti 9,4cm. Rozptyl bude tedy 6,2cm. Pro druhou krajní hodnotu prahu pak bude vzdálenost detekce nejtmavějšího objektu 4,6cm a nejsvětlejšího 14cm. Rozptyl tedy bude 9,4cm. Oproti prvnímu způsobu vyhodnocování pouze podle velikosti výstupního napětí se jedná o relativně velké zlepšení vlastností detekce. I při špatném nastavení prahu pro druhou metodu je dosaženo zjevně lepších výsledků než při první metodě.



Obr. 10 Grafické znázornění určení vzdálenosti-metoda2

Jedinou nevýhodou druhé metody je, že robot musí být v pohybu pro určení vzdálenosti. Na druhou stranu pokud robot stojí, nehrozí nebezpečí nárazu do překážky.

6.4 Měření snímače podlahy

Snímač podlahy nebyl detailně měřen, pouze bylo ověřeno tvrzení, že jeho mechanické uspořádání fotoelementů zabezpečí spolehlivost v běžných podmínkách a v extrémních podmínkách. Snímač byl namontován na robota a byl vytvořen schod (výška 10cm). Byly testovány různé kombinace vzorků, především však extrémní kombinace, kdy na plošině, po které se robota pohyboval, byl umístěn černý filc a na nižší plošinu, která reprezentovala schod (10cm) byl umístěn bílý papír. I za těchto podmínek byla nejvyšší hodnota naměřeného výstupního napětí snímače při snímání schodu-bílého papíru cca 200mV, zatímco nejnižší hodnota naměřená na ploše pod robotem (černý filc) byla cca 260mV. Tyto meze nebyly nikdy překročeny. To znamená, že i při extrémních podmínkách je rozdíl naměřených hodnot mezi plošinami více než 30%, tedy měření lze považovat za spolehlivé. Pro ostatní vzorky byly výsledky vždy ještě lepší.

7 ZHODNOCENÍ RVNÍ ČÁSTI

Na základě rešerše produktů různých výrobců dostupných v ČR bylo možno produkty hodnotit a porovnávat. Lze říci, že na českém trhu (ovšem obecně celosvětově) vedou co se týká kvality zpracování, funkčnosti, řídicích algoritmů, možností, hlučnosti a čistící efektivity jednoznačně firmy iRobot, iClebo a Samsung. Více v kapitole 2.12 .

Byla vytvořena základní představa o tom, co by měl prototyp robota autonomně zvládnout, jak by měl komunikovat s uživatelem a jak mu vymezit prostor pro pohyb. Také byla vytvořena základní představa o algoritmu průjezdu místností a mapování. Tedy představa o konečné podobě prototypu robota. Bylo navrženo blokové schéma určující obvodovou hierarchii a připojení jednotlivých periférií k řídicí části. Řídicí jednotky jsou uvažovány dvě. Jedna hlavní a jedna pomocná. Hlavní řídicí jednotka by měla mít na starosti navigaci, mapování a komunikaci s uživatelem, druhá pak obsluhu všech ostatních periférií. Více v kapitole 4.

Byl navržen a vyroben infračervený proximity snímač. Důraz byl kladen na rozměry snímače, kvůli omezenému prostoru v těle robota. Snímač je tvořen generátorem obdélníkového průběhu, který spíná IR LED diodu. Ta vysílá záření na cíl, od kterého se záření odráží a je snímáno fototranzistorem. Signál generovaný fototranzistorem je zesílen, filtrován pro odstranění DC složky a usměrněn aktivním usměrňovačem. Snímač má možnost vypnout vysílání záření LED diodou pomocí signálu ENABLE. Je tak připraven pro multiplexování s více snímači. Vždy by měl vysílat pouze jeden snímač, jinak by se snímače mohly navzájem ovlivňovat, nicméně toto tvrzení bude ještě nutno ověřit. Více v kapitole 5.

Pro měření vlastností snímače byl vyroben měřicí přípravek zobrazen a popsán v kapitole 6.1 . Měřena byla závislost výstupního napětí snímače na vzdálenosti od terče a úhlu natočení terče. Měření bylo provedeno pro pět vzorků a šest kombinací zářičů a detektorů. Všechna naměřená data jsou uvedena v **příloze č.1**. Dle těchto naměřených dat bylo vyhodnoceno jako nejvhodnější použití IR LED diody TSAL5100 a fototranzistoru HPTB5-14D-B. Měření prokázalo vysokou závislost výstupního napětí na pohltivosti terče. Při měření byly zkoumány také dva extrémní případy-nízká pohltivost (terč tvořen bílým papírem) a velmi vysoká pohltivost (černý filc). Vzhledem k tomu, že jen obtížně budeme v domácnosti hledat ve výšce snímačů robota hůře detekovatelný materiál, byla naměřená data pro černý filc považována za nejhorší možný případ.

Všechny průběhy pro všechny materiály byly seskupeny do jednoho grafu, ve kterém se zkoumalo prahové napětí, od kterého by měl robot uvažovat překážku a zastavit. Výsledky nebyly uspokojivé. Pro silně pohltivé materiály by robot zaznamenal

překážku příliš pozdě (2,5cm), pro materiály s dobrou odrazivostí by naopak zastavoval příliš brzy (13cm). Proto byla vytvořena metoda, která toto eliminuje. Metoda počítá absolutní hodnotu směrnice ze dvou známých napětí ve dvou bodech, jejichž vzdálenost je známa. Tato metoda dosahuje znatelně lepších výsledků. Pro tuto metodu byly stanoveny krajní meze nastavení prahu. Pro horní mez robot při snímání vysoce pohltivého materiálu zastaví ve vzdálenosti 3,2cm, při snímání dobře odrazivého pak ve vzdálenosti 9,4cm. Pro dolní mez prahu jsou pak vzdálenosti 4,6 a 14 cm. Tato metoda vždy dosáhne lepších výsledků, než pouhé měření napětí výstupu snímače. Více v kapitole 6.

Snímač podlahy při testech prokázal funkčnost a spolehlivost i za špatných podmínek (nižší snímaný povrch- bílý papír, vyšší-černý filc), rozdíl výstupních napětí snímače pro jednotlivé plochy bude vždy vyšší než 30% (pro výšku schodu 10cm a větší).

8 NÁVRH ZAPOJENÍ ŘÍDICÍ ELEKTRONIKY

Řídicí elektronika pro robotický vysavač byla navrhována tak, aby po dokončení prací na robotickém vysavači mohla vzniknout celá řada vysavačů, dle zařízení, která budou instalována. Nutností by pak byla jen obměna softwaru, respektive nahrazení určitých segmentů kódu. Tento robotický vysavač je navrhován jako nejvyšší model řady. Jako takový bude disponovat 3,2" barevným LCD displejem s touch panelem, dále 1,3 megapixelovou kamerou pro navigaci a další funkce, RF modulem pro komunikaci s okolím a dálkové ovládání, audio výstupem pro signalizaci uživateli, a USB portem pro možnost aktualizace softwaru a nastavení robota. Tyto jednotlivé komponenty mohou nebo nemusí být instalovány (s výjimkou USB portu). V případě že by nebyl použit LCD display, byla by místo něj připojena klávesnice se sedmisegmentovým displejem.

Celý tento systém je rozčleněn do několika subsystémů, které budou popsány každé zvlášť. Následně budou popsány obě řídicí jednotky (jak sekundární tak primární) a propojení subsystémů s těmito řídicími jednotkami.

8.1 Power management

Tento subsystém zahrnuje snímání napětí akumulátoru, měření celkového proudu akumulátoru v obou směrech, zajišťuje nabíjení akumulátoru a snímání jeho teploty. Dále pak obsahuje veškeré napájecí zdroje, které jsou použity a management napájecích větví. Napájecích větví je použito celkem šest.

8.1.1 Popis napájecích větví

První napájecí větví je nepřerušitelný zdroj napájení. Jedná se pouze o vyfiltrované napětí z akumulátoru. Slouží pro napájení shutdown logiky, tedy logiky, která ovládá přímo napájecí zdroje (popsány níže). Velký důraz byl kladen na to, aby spotřeba této větve byla minimální (v klidovém režimu méně než 50uA, odběr zvýšen pouze při změně stavu). Tato větev ve schématu není značena symbolem napájecí větve. Dalšími napájecími větvemi jsou dvě 5V větve. Obě větve jsou připojeny ke stejnému zdroji. Větev VCCIO napájí mikrokontroler Atmega128 a nejkritičtější obvody (IC13-DKO-ovládání napájecích zdrojů, RF modul, IC14-ADC měření celkového proudu akumulátoru obousměrně, U8-reference pro IC14 a uC, dále IC18, IC2, IC31 a klávesnice). Všechny ostatní obvody vyžadující 5V napájení jsou napájeny z větve +5V. Větev +5V je vypínána samostatně tranzistorem Q22. Větev VCCIO lze vypnout pouze

vypnutím celého zdroje U19. Power management je navrhnut tak, aby napájení VCCIO bylo vypínáno vždy jako poslední a také jako první bude zapnuto. Zapnutím napájecího zdroje 5V je 5V na této napájecí větvi, všechny ostatní zdroje zůstávají vypnuté díky shutdown logice napájené nepřerušitelným zdrojem napájení. Po startu uC Atmega128 proběhne inicializace a software dle známých dat určí, které zdroje mají zůstat vypnuté a které se mají zapnout. Naopak při vypínání nejprve rozhodne jeden z řídicích systémů, že je třeba napájení vypnout. Musí být uložena všechna data a provedeny nezbytné operace. Jako první se vypne napájení pro primární řídicí systém, poté napájecí větev +5V a VCCIO je vypnuta jako poslední. K tomuto úplnému vypnutí však dojde pouze v případě, že je akumulátor v kritickém stavu a dalším provozem hrozí jeho poškození. Opětovné zapnutí robota je v tomto případě možné pouze tlačítkem S1. Tímto tlačítkem je možno také robota vypnout, avšak robot nejdříve provede operace nutné pro vypnutí. Další napájecí větev je větev +3V3, která napájí logiku a IO primárního řídicího systému. Tuto napájecí větev lze vypnout vypnutím napájecího zdroje U21. Další napájecí větev je 1V8. Tato napájecí větev slouží pro napájení jádra mikrokontroleru ARM Cortex. Pro získání napětí 1V8, byl použit lineární stabilizátor, napájený z 3V3 zdroje. Poslední napájecí větev je +15V, která slouží pro napájení silové části a operačních zesilovačů. Tuto napájecí větev lze vypnout tranzistorem Q19.

8.1.2 Popis managementu akumulátoru

Akumulátor je připojen ke zbytku obvodu přes vratnou PTC pojistku. Napětí z akumulátoru je filtrováno tantalovým kondenzátorem a měřeno na odporovém děliči (R174, R184), který je připojen k napětí akumulátoru přes spínač tvořen tranzistorem Q15 a Q14. Spínač je použit z toho důvodu, že dělič by bez něj byl připojen přímo na napětí akumulátoru, tedy nebylo by možno zamezit protékání proudu děličem, což je zejména při kritickém stavu akumulátoru velmi nežádoucí. Výstup odporového děliče je přiveden na neinvertující vstup diferenčního zesilovače IC31A a je filtrován kondenzátorem C135. Jako invertující vstup slouží upravené referenční napětí (vodič 62) oddělené OZ IC2B. Výstup operačního zesilovače je na sběrnici značen jako Uacc 27 a je přiveden na vstup analogového multiplexeru IC18. Zapojení měření napětí akumulátoru je nastaveno tak, aby výstup IC31A = 0V odpovídal 10,4V na akumulátoru a výstup IC31A = 4V odpovídal 20V na akumulátoru. Toto nastavení zvýší rozlišovací schopnosti měření, napětí akumulátoru se rovněž musí pohybovat v těchto mezích, jinak hrozí jeho poškození. Dále je obousměrně měřen proud akumulátoru Halloým snímačem U17. Jeho výstup je přiveden na ADC (IC14), typ AD7942 pod označením na sběrnici Iacc 28. Výstupní napětí je přímo úměrné protékajícímu proudu, snímač má lineární převodní charakteristiku ke které je přičten offset kvůli měření proudů opačného smyslu viz [22]. Za tímto senzorem jsou čtyři další tantalové filtrační kondenzátory. Zde je také připojen výstup nabíječky. Externí zdroj pro nabíjení má dva vstupy. Jedním je klasický napájecí konektor, druhým jsou lyžiny zespod robota pro

nabíjení v dokovací stanici. Nabíjecí proud je řízen vlečnou regulací přímo mikrokontrolerem Atmega128 pomocí jednoho z jeho PWM kanálů. Tento PWM kanál je společný pro řízení otáček hlavního rotačního kartáče a nabíječky. Volba přesměrování. Přímě z uC je veden PWM kanál (vodič na sběrnici č. 18) do hradla U1 a k rotačnímu kartáči. PWM signál je do nabíječky (vodič na sběrnici č. 30) propouštěn hradlem U1, pokud je řídicí vodič (č. 56) ve vysoké logické úrovni. PWM kanál je sdílen z toho důvodu, že nikdy nebude třeba obou periférií současně. Tranzistor Q17 pak spíná Q13 a PWM výkonový signál je filtrován LC členem. Hallův snímač proudu pak snímá velikost proudu tekoucího do akumulátoru. Napětí z napájecích konektorů je dále připojeno přes rezistor R156 na zenerovu diodu, jejíž signál nese název CHflag 25 a slouží jako IRQ. Jako poslední prvek je zde zařazeno měření teploty akubloku pomocí vestavěného termistoru (klasický odporový dělič) a operačního zesilovače IC31B.

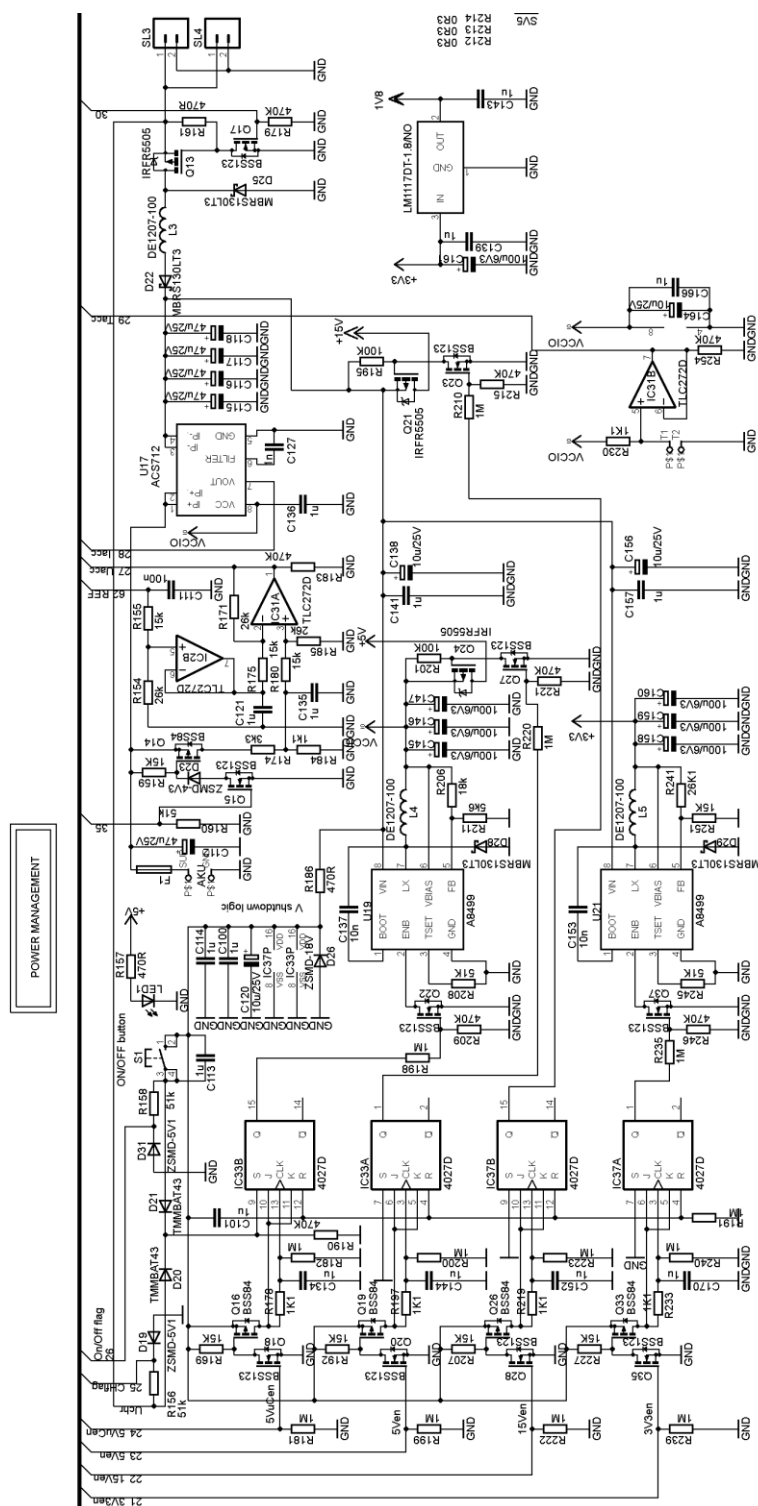
[19], [20], [22], [23]

8.1.3 Popis shutdown logiky

Každá napájecí větev (kromě nepřerušitelného zdroje napájení a 1V8) má svou vlastní shutdown logiku. Ta je napájena z jednoduchého pomocného zdroje realizovaného pomocí 18V zenerovy diody a rezistoru 470R. Jedná se vlastně pouze o ochranu proti vyššímu napětí, protože jmenovité napětí akumulátoru sice je 15V, ale při nabíjení, nebo vlivem poruchy by mohlo vzrůst výše, než tolerují použité klopné obvody. Napájení klopných obvodů je opět důsledně blokováno. Pro vlastní logiku byly použity J-K klopné obvody, kdy jsou oba vstupy (J i K) spojeny a ovládány dvojicí tranzistorů, kvůli napěťovému přizpůsobení logických signálů. Dvou tranzistorů bylo použito proto, že mají v klidovém stavu prakticky nulový odběr. Hodinový signál je získán pomocí RC členu, jehož vstup je rovněž spojen s J a K. Logika se vždy ovládá impulsem definované délky (větší než 1,5ms). Tímto impulsem se jednotlivé zdroje jak zapínají, tak vypínají. V okamžiku příchodu impulsu je vysoká logická úroveň na vstupech J, K a kondenzátor se nabíjí přes rezistor čímž je generována náběžná hrana, stav bude překlacen. Vstupy S klopných obvodů IC33A, IC37A a IC37B jsou připojeny na elektrickou zem. Vstupy R všech J-K KO jsou připojeny přes rezistor R191 na elektrickou zem a přes kondenzátor C101 na napájení shutdown logiky. Při odpojení akumulátoru se vybijí filtrační kondenzátory a klopné obvody tak ztratí napájení. Po opětovném připojení akumulátoru by byly na výstupech klopných obvodů nedefinovatelné stavy. Toto zapojení zaručí úroveň L na všech výstupech J-K KO (vypnutí všech zdrojů). Výjimkou je klopný obvod IC33B, který ovládá 5V zdroj. U tohoto klopného obvodu je vstup Set připojen na tlačítko. To proto, aby bylo robota možno zapnout. K tlačítku je taktéž připojen odporový dělič, k němuž je připojen vodič ON/OFF FLAG 26, což je žádost o přerušení. Protože je spínací logika napájena nepřerušitelným zdrojem napájení, nehrozí nahodilé nebo nežádané zapínání/vypínání zdrojů při startu systému.

[23], [24], [25]

8.1.4 Schéma zapojení

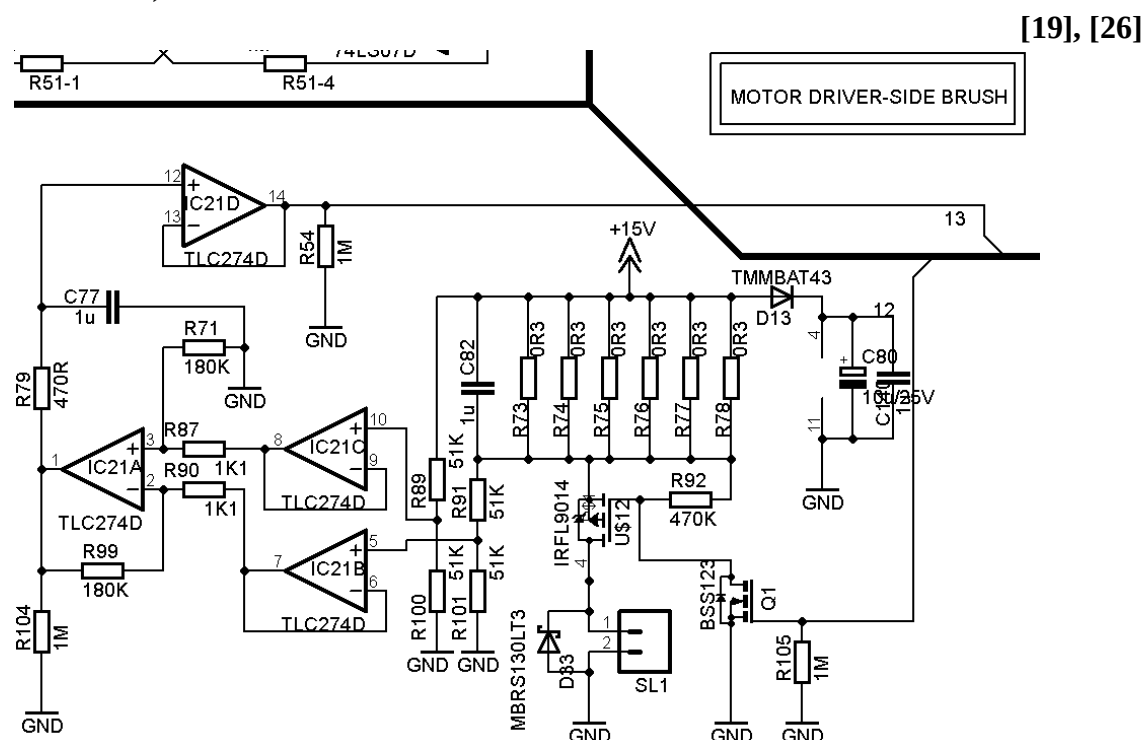


Obr. 11 Schéma zapojení-power management

8.2 Řízení bočního kartáče a sací turbíny

Tyto dva bloky jsou zcela shodné. Jedná se pouze o tranzistorový spínač a blok měření protékajícího proudu. Motor je vždy ochrannou diodou. Motor bočního kartáče je zapnut vysokou úrovní na vodiči č. 12, motor turbíny pak rovněž vysokou log. Úrovní na vodiči č. 14.

Měření proudu je realizováno pouze jako orientační. Sestává z paralelně zapojených měřicích rezistorů překlenutých blokovacím kondenzátorem. Úrovně před i za měřicími rezistory je vydělena dvěma pomocí odporového děliče (kvůli napět'ovému přizpůsobení vzhledem k napájení OZ). Oba signály jsou dále odděleny oddělovacími zesilovači. Dále signály vstupují do klasického diferenciálního zesilovače se zesílením 163. Výstupní signál diferenciálního zesilovače je dále filtrován RC členem typu dolní propust s časovou konstantou 0,5ms. Tento signál je opět oddělen a výstup oddělovače připojen na analogový multiplexer (pro boční kartáč vodič č. 13, pro motor turbíny vodič č. 15).



Obr. 12 Schéma zapojení-boční rotační kartáč, sací turbína

8.3 Řízení pohonu kol

Elektronika pohonu kol sestává z několika částí. První částí je orientační měření proudu, druhou částí je řídicí logika, třetí částí je plný most pro řízení motoru a čtvrtou snímání otáček. Důraz byl kladen na to, aby za žádných okolností nemohl nastat stav, při kterém by mostem mohl protékat příčný proud. Celé řízení pohonu kol bylo realizováno diskrétně a to z toho důvodu, že integrované obvody řízení DC motorů jsou buď nepřipustně drahé, nebo nedostupné nebo nevhodné pro tuto aplikaci.

Pohon kol je ovládán třemi vodiči, další tři slouží pro měření proudu (Im-L...vodič č. 5, Im-R...vodič č. 11), zjišťování polohy kola vzhledem k tlumiči (WD-L/WD-R...vodič č. 3/9), výstupním signálem je pouze 1/0. Posledním vodičem je zesílený signál ze snímače otáček (ENC-L/ENC-R...č. 4/10). Signál je tvořen impulsy, respektive 255 impulsů na jednu otáčku kola.

[19], [27], [28], [29]

8.3.1 Řízení pohonu kol - měření proudu

Měření proudu je realizováno stejně jako u řízení bočního kartáče nebo řízení sací turbíny. Opět je snímáno napětí na paralelně spojených snímacích rezistorech, toto je zesíleno diferenciálním zesilovačem se zesílením $A_u=80$, filtrováno dolní propustí a odděleno (viz 8.2).

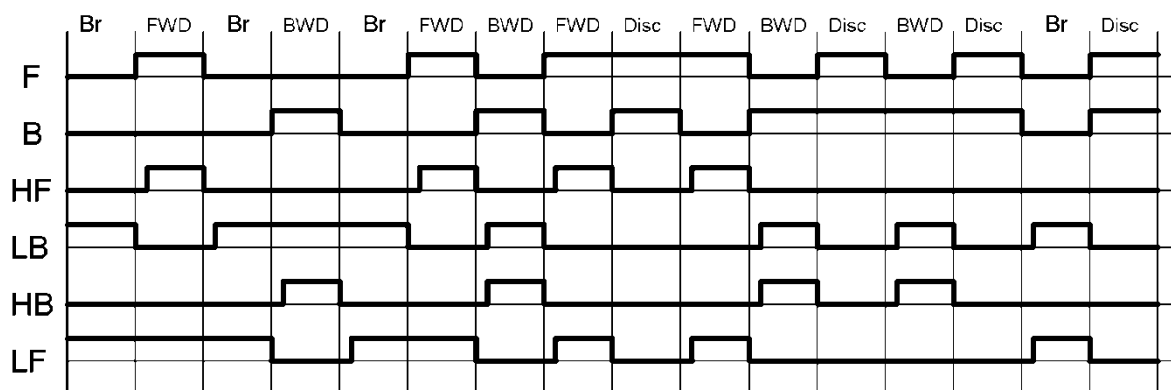
8.3.2 Řízení pohonu kol – řídicí logika

Při návrhu řídicí logiky byl kladen důraz na spolehlivost a robustnost. Požadavek byl takový, aby i v případě poruchy řídicího systému nebo při softwarové chybě nemohlo dojít k tomu, aby mostem protékal příčný proud. Dalším požadavkem bylo, aby nemohla nastat situace, ve které by bylo k protékání příčného proudu blízko. Taková situace by nastala v případě přepínání stavů, kdy by se horní MOSFET uzavíral a zároveň již dolní MOSFET otevíral. K čemu by v tomto případě došlo, by pak záleželo na toleranci součástek. Toto je v první řadě riziko, v druhé řadě plýtvání energií z akumulátoru. Proto byly do řídicí logiky zařazeny čtyři dead time generátory. Poslední požadavek byl takový, aby bylo motor možno snadno řídit pomocí PWM. Všechny stavy obvodu přehledně popisuje **Tabulka 10**, kde E, F, B jsou vstupy (Enable, Forward, Backward) a HF, LF, HB, LB jsou výstupy. Je třeba dát pozor na to, že horní tranzistory jsou typu P a dolní typu N. V tabulce jsou uvedeny výstupy z řídicí logiky, do které nejsou zahrnuty pomocné tranzistory BSS123, které úrovní H na svém gatě otevírají horní MOSFETy. Dále je třeba upřesnit, že označení HF, LF, HB, LB definuje, které MOSFETy budou při kterém směru jízdy sepnuty. Tedy při směru jízdy vpřed budou sepnuty HF a LF (Horní levý a dolní pravý. Při jízdě zpět přesně naopak).

E	F	B	HF	LF	HB	LB	Stav
0	0	0	0	1	0	1	Brzda
0	0	1	0	0	0	1	Zpět-vypnuto
0	1	0	0	1	0	0	Vpřed-vypnuto
0	1	1	0	0	0	0	Odpojeno
1	0	0	0	1	0	1	Brzda
1	0	1	0	0	1	1	Zpět-zapnuto
1	1	0	1	1	0	0	Vpřed-zapnuto
1	1	1	0	0	0	0	Odpojeno

Tabulka 10 Řízení pohonu kol-logická tabulka

Tabulka jasně ukazuje, že neexistuje žádný nebezpečný stav. Nyní je třeba vyřešit problém s přechody mezi stavy. Jak již bylo řečeno, tento problém řeší čtyři dead time generátory, které zpožďují sepnutí tranzistoru o určitý časový interval. Jako DTG postačí jedno jednovstupé hradlo a RC člen. V zapojení jsou použita hradla dvou a třívstupá a to jednoduše proto, že v pouzdře při návrhu zbyla a bylo třeba je zužít. DTG realizované pomocí hradel NOR (IC27C a IC27A) zpožďují spínání dolních tranzistorů mostu. Jednoduše až klesne napětí na kondenzátoru C105, který je přes rezistor R133 vybíjen, na úroveň prahového napětí, hradlo se překlápí a otevře výkonový MOSFET. Pokud má být MOSFET uzavřen, stane se tak okamžitě. Pro horní pár MOSFETů byla použita hradla AND (IC22C a IC24). Zde je přes rezistor R106 nabíjen C94. V okamžiku, kdy dosáhne napětí na kondenzátoru prahového napětí hradla, se hradlo překlápí a otevře tranzistor. Opět se tranzistor zavírá okamžitě. Na Obr. 13 jsou zobrazeny přechody mezi jednotlivými stavy.



Obr. 13 Řízení pohonu kol-diagram přechodů mezi stavy

Délku DT bylo třeba určit na základě délky nejkratšího impulsu PWM a doby, po kterou se bude tranzistor zavírat. Protože však byla doba, po kterou se tranzistor zavírá několikrát delší než nejkratší délka PWM impulsu (při kmitočtu oscilátoru 16MHz), byla zvolena časová konstanta 858 ns (dle vztahu $T=2RC$). To tedy znamená,

[27], [28], [29]

Pro měření otáček slouží snímač otáček přímo zabudovaný v těle vlastní pohonné jednotky. Je napájen z větve +5V a jeho výstupem jsou krátké impulsy nízké amplitudy (500mV). K účelu zesílení impulsů postačil jeden tranzistor MOSFET s kanálem N. Na gate tranzistoru je přiveden offset pro spolehlivější spínání. Výstup již nabývá 5V logických úrovní. Na jednu otáčku kola připadá 255 impulsů ze snímače otáček. Snímač polohy kola je pak obyčejným mikrospínačem.

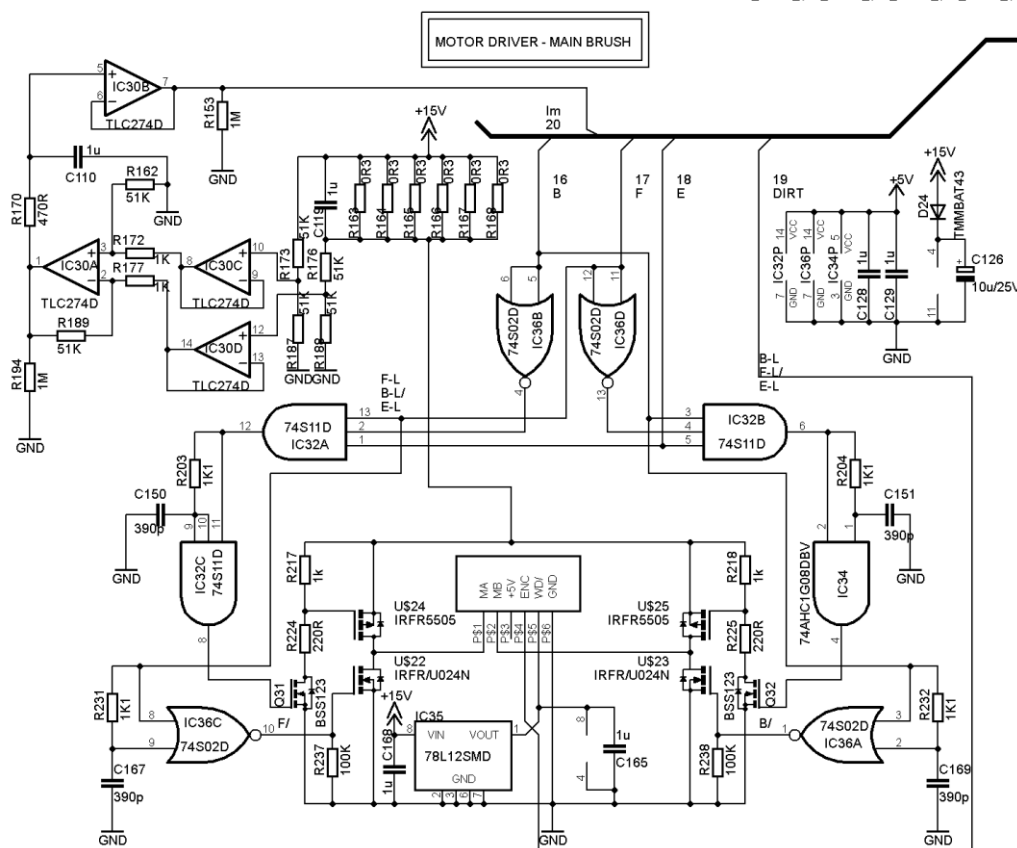
[illegible]

48

8.4 Řízení hlavního rotačního kartáče

Řízení rotačního kartáče je zcela shodné s řízením pohonu kol. Měření proudu je realizováno opět jako měření napětí na snímacím rezistoru, zesílení diferenciálního zesilovače je však nastaveno na $A_u=51$ (**viz 8.2**). Výstup měření proudu je připojen na vodič pod označením Im 20 a jako ostatní je veden na analogový multiplexer. Logika pro řízení mostu je taktéž shodná s řídící logikou pro pohon kol (**viz 8.3.2**). Řídící vodiče jsou označeny B 16, F 17 a E 18. PWM řízení pro řízení výkonu a směru otáčení rotačního kartáče bylo použito proto, aby se při případném namotání kabelů nebo třásní mohl robot autonomně vyprostit. PWM kanál mikrokontroleru je sdílen s nabíječkou akumulátoru. K řízení hlavního rotačního kartáče je PWM kanál však připojen stále, vypínán je pouze PWM kanál nabíječky, **viz 8.1.2**. Rozdíl mezi řízením pohonů kol je pouze v tom, že řízení rotačního kartáče nepoužívá snímač otáček. Místo něj je použit snímač nečistot, který má na svém výstupu impulsy definované délky v případě zachycení nějaké nečistoty. Čím více nečistot rotační kartáče zachytí, tím více impulsů bude snímač generovat. Snímač potřebuje pro svou činnost napájení +12V, které je získáno obyčejným lineárním stabilizátorem 78L12. Tento stabilizátor je napájen z 15V větve. Výstup snímače je připojen na vodič sběrnice pod označením DIRT 19. Signál je dále upravován filtrem typu horní propust a zesílen. Tento signál je veden na jeden z přerušovacích kanálů mikrokontroleru Atmega128 pod označením DIRT IRQ 80.

[19], [27], [28], [29], [30]



Obr. 15 Schéma zapojení-řízení hlavního rotačního kartáče

8.5 Sekundární řídicí systém

Sekundární řídicí systém byl navrhnut k účelu obsluhy základního hardwaru nezbytného pro chod robota a senzorického systému. Tento řídicí systém zajišťuje chod pohonů, snímání otáček, protékajícího proudu, ovládání power managementu, komunikaci s okolím pomocí RF modulu, snímání množství nečistot, teploty akubloku a zpracování signálu snímače pro vyhledávání základny. Jeho úkolem je převzetí režie hardwaru od primárního řídicího systému. Pro jeho realizaci byl zvolen mikrokontroler Atmega128. Důvodem byla jeho snadná dostupnost, nízká cena ale především zkušenost s jeho použitím. Kontroler je napájen z větve VCCIO přes Schottkyho diodu, toto napětí je dále filtrováno tantalovým kondenzátorem. Mikrokontroler je takto napájen chráněn proti případným poklesům napětí nebo napěťovým špičkám, aby nemohlo dojít k narušení jeho chodu. Krystalový oscilátor kmitá na frekvenci 16MHz. Všechny napájecí piny mikrokontroleru jsou blokovány. Data jsou do paměti FLASH mikrokontroleru ukládána pomocí sběrnice ISP (SV3). Mikrokontroler je možno resetovat tlačítkem reset (S2- pravděpodobně pouze pro vývojovou verzi a debug). Toto tlačítko resetuje jak primární, tak sekundární řídicí systém. Logický signál je pro SAM9XE oddělen budičem sběrnice (každý řídicí systém používá jiné logické úrovně, také aby se mikrokontrolery nemohly navzájem ovlivňovat), Mikrokontroler Atmega128 je zapojen přímo. Signál reset je blokován (C20, C172 a C54). Pro veškerá analogová měření byla použita reference Analog Devices ADR444.

[19], [20], [21], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40]

8.5.1 Proximitní snímače – sběr dat

Proximitní snímače a jejich funkce byly detailně popsány v kapitole 5. Zde se budeme zabývat pouze sběrem dat a ovládání snímačů. Jak již bylo řečeno, snímače jsou realizovány dva v jednom pouzdře. Na desce plošných spojů jsou tedy čtyři konektory, každý po osmi pinech. Vývody jsou na konektoru zapojeny následovně:

PIN	Funkce
1	Analog data, snímač1
2	Enable, snímač 1
3	+5V, snímač 1
4	GND, snímač 1
5	GND, snímač 2
6	+5V, snímač 2
7	Enable, snímač 2
8	Analog data, snímač2

Tabulka 11 Vodiče na konektoru proximitního snímače

Tedy jednotlivé snímače jsou zapojeny zrcadlově. To z toho důvodu, aby i při opačném zapojení konektoru nedošlo k poškození. Konektory byly použity Picoflex 8, jejich značení je: U4, U6, U7, U10. Všechny analogové výstupy snímačů jsou přivedeny na analogový multiplexer (IC17), jehož výstup je připojen na nultý kanál AD převodníku mikrokontroleru (PF0). Použití dvou analogových multiplexerů je nezbytné, mikrokontroler má pouze 8 AD kanálů. V tomto případě navíc umožňuje na DPS ušetřit tažení čtyř cest. Všechny vodiče Enable jsou přivedeny na posuvný registr IC11. Posuvný registr byl použit z toho důvodu, že bylo třeba ušetřit IO piny mikrokontroleru. Podstata jeho použití je navíc výhodou, vždy může být v provozu pouze jeden proximitní snímač. To z toho důvodu, aby se snímače navzájem neovlivňovaly. Snímače tedy budou přepínány jediným impulsem přivedeným na CLK vstup posuvného registru.

[31], [32]

8.5.2 Měření ostatních analogových veličin

K tomuto účelu souží druhý analogový multiplexer IC18. Tento přepíná analogové signály postupně: měření proudu obou pohonů kol, měření proudu sací turbíny, bočního kartáče a hlavního rotačního kartáče, měření napětí akumulátoru, měření teploty akumulátoru a výstup senzoru hledání základny. Výstup tohoto analogového multiplexeru je připojen na první AD kanál (PF1) mikrokontroleru Atmega128.

Snímač pro vyhledávání základny je realizován IR zářičem instalovaným na základně. Prozatím není známo, zda bude vhodnější použití IR LED diody, nebo IR laseru. Tento zářič vysílá modulovaný IR signál. Ten je zachycen fototranzistorem instalovaným na robotu. Signál je zesílen, filtrován horní propustí druhého řádu a usměrněn půlvlnným usměrňovačem. Dle velikosti stejnosměrného napětí na výstupu usměrňovače je určeno, jak daleko se od základny robot nachází. Jedná se o měření, které má pomoci robotu zaparkovat v základnové stanici. Do blízkosti základny se musí robot dostat na základě mapování.

Poslední analogová veličina, která je měřena, je celkový proud z akumulátoru. Tento proud měří Hallův snímač (U17). Jedná se o integrovaný obvod firmy Allegro Microsystems, typové označení ACS712. Snímač má minimální odpor měřicího kanálu (1,2mΩ), dokáže snímat proud do frekvencí až 80KHz. Pro napájení 5V odpovídá hodnotě 0A výstupní napětí 2,5V. Pro kladné proudy (z akumulátoru) je pak výstupní napětí vyšší, pro záporné proudy (nabíjení akumulátoru) je napětí na výstupu nižší. Výstupní napětí Hallova snímače je přivedeno (vodič č. 28) na vstup AD převodníku IC14. Jedná se o 14 bitový AD převodník firmy Analog Device, typové označení AD7942. Tento AD převodník je napájen z větve VCCIO, reference U8 taktéž. To z toho důvodu, aby mohl robot i při nízkoodběrovém režimu mohl měřit proud tekoucí z akumulátoru a monitorovat jeho kapacitu, nebo aby byla minimalizována spotřeba

během nabíjení robota. Výstup AD převodníku je zprostředkován SPI sběrnici mikrokontroleru.

[31], [35], [37]

8.5.3 IRQ a IRQ multiplex

Mikrokontroler Atmega128 disponuje pouze 8 IRQ kanály. Vzhledem k tomu, že IRQ kanálů bylo zapotřebí 14, musely být IRQ kanály méně kritické pro chod robota multiplexovány. Multiplex IRQ kanálů je realizován pomocí IC6, osmivstupého digitálního multiplexeru. Použito je sedm vstupů. Přerušení je vyvoláno náběžnou hranou kteréhokoliv z těchto IRQ kanálů. IRQ kanály jsou přes Zenerovy diody připojeny na společný IRQ vodič COM_IRQ 57, tento je připojen k jednomu z IRQ kanálů mikrokontroleru. Tím je vyvoláno přerušení a mikrokontroler přepínáním adresy multiplexeru zjišťuje, ze kterého kanálu IRQ pochází. IRQ kanály přímo připojené k mikrokontroleru jsou tyto:

IRQ kanál uC	Zdroj IRQ (vodič)	Popis
0	ENC L IRQ (4)	Otáčky levého kola
1	ENC R IRQ (10)	Otáčky pravého kola
2	CORTEX IRQ (55)	IRQ od primárního řídicího systému
3	WD L IRQ (3)	IRQ polohy levého kola
4	WD R IRQ (9)	IRQ polohy pravého kola
5	DIRT IRQ (80)	Snímač nečistot
6	IMEAS IRQ (60)	Měření proudu dokončení (Hall)
7	COM IRQ (55)	IRQ multiplexovaného kanálu

Tabulka 12 IRQ kanály

Multiplexované kanály IRQ jsou tyto:

IRQ kanál MUX	Zdroj IRQ (vodič)	Popis
0	CH FLAG (25)	Napětí na napájecím konektoru
1	ON/OFF FLAG (26)	Tlačítko On/Off
2	RF IRQ (58)	IRQ z RF modulu
3	BUMPER 1	Nárazník L
4	BUMPER 2	Nárazník R
5	KIRQ (69)	IRQ klávesnice
6	OMNIW IRQ (79)	Všesměrové kolo IRQ
7	---	---

Tabulka 13 Multiplexované IRQ kanály

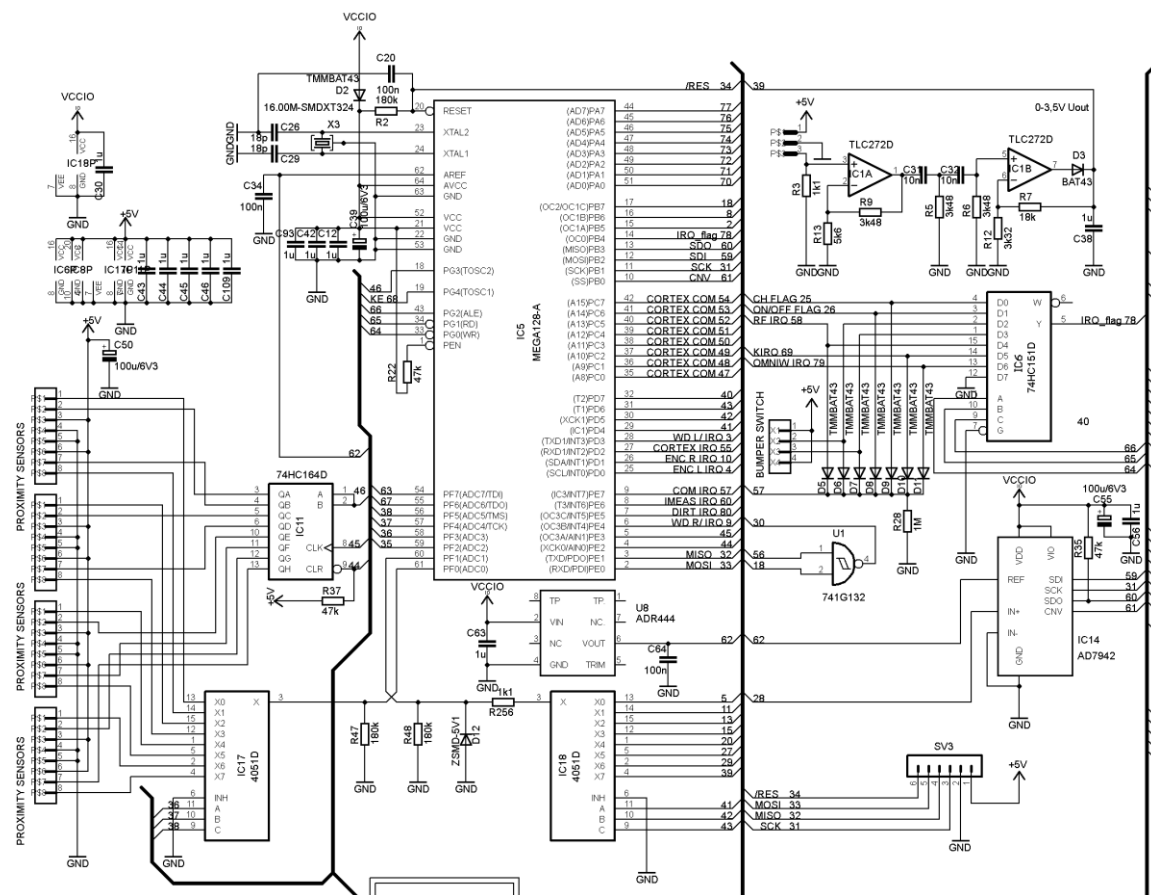
IRQ klávesnice slouží pro komunikaci (současně s SPI sběrnici) klávesnice s mikrokontrolerem. Klávesnice je namontována pouze v případě, že model neobsahuje

LCD s dotykovým panelem. Klávesnice (U9) je napájena z VCCIO větve, doposud nebyla klávesnici věnována pozornost.

OMNIW IRQ slouží pro měření otáček všesměrového kolečka. Měření otáček všesměrového kolečka je realizováno pomocí IR LED diody a fototranzistoru. Všesměrové kolo je z poloviny zbarveno bílou a z poloviny černou barvou. Je snímán odraz od kola. Protože zcela jistě dojde k zanesení kola nečistotami, bylo třeba tomuto uzpůsobit elektroniku snímače. Ta je tvořena obyčejným komparátorem, realizovaným pomocí OZ IC2A, na jehož invertující vstup je přivedeno napětí 3,3V a na neinvertující vstup signál z fototranzistoru. Tím je zabráněno tomu, že při nánosu nečistot na kole budou jako bílá plocha snímány nečistoty. Zcela jistě bude muset správnost funkce kolečka řešit software (kontrola střídání logických úrovní).

[21], [34], [36]

8.5.4 Schéma zapojení pro kapitoly 8.5.1 – 8.5.3



Obr. 16 Schéma zapojení pro kapitoly 8.5.1-8.5.3

8.5.5 IO multiplex

Z důvodu nedostatku IO pinů mikrokontroleru, bylo dále nutno jeden port (PA) multiplexovat. Proto bylo použito dvou integrovaných obvodů (IC8 a IC13), každém o

osmi D klopných obvodech. Vstupy obou obvodů jsou spojeny a připojeny na PA (vodiče 70-77). Pomocí signálu CLK (vodiče 32 a 33) D klopných obvodů jsou pak data z portu PA přepsána buď na výstup IC8, nebo IC13. Vodiče připojené na výstupy D klopných obvodů lze nalézt v tabulkách **Tabulka 14** a **Tabulka 15**. Obvod IC8 je napájen z větve +5V, obvod IC13 je pak napájen z větve VCCIO. To z toho důvodu, aby v režimu nízkého odběru byl mikrokontroler schopen ovládat napájecí zdroje.

IC8 Vstupy	IC8 Výstupy (Vodič)	Popis
1	B-L (0)	Zpět-levé kolo
2	F-L (1)	Vpřed-levé kolo
3	B-R (6)	Zpět-pravé kolo
4	F-R (7)	Vpřed-pravé kolo
5	SBE (12)	Boční kartáč On/Off
6	TE (14)	Turbína On/Off
7	B (16)	Zpět-rotační kartáč
8	F (17)	Vpřed-rotační kartáč

Tabulka 14 IO multiplex první skupina

IC13 Vstupy	IC8 Výstupy (Vodič)	Popis
1	3VEN (21)	3V3 zdroj On/Off
2	15Ven (22)	15V zdroj On/Off
3	5VEN (23)	+5V zdroj On/Off
4	5VUCEN (24)	5V VCCIO zdroj On/Off
5	PWM SW(56)	Odpojovač PWM kanálu nabíječky
6		
7		
8		

Tabulka 15 IO multiplex druhá skupina

[34], [39]

8.5.6 RF modul

RF modul slouží ke komunikaci robota s okolím. Jednak ke komunikaci s dálkovým ovladačem a jednak pro komunikaci se základnou (volitelný prvek). Jedná se o hotový RF modul firmy Hopefr electronic, RF12B. Tento modul komunikuje na kmitočtu 868 MHz, což poskytuje až 256kbps datového toku. Takovýto datový tok může být použit například pro aktualizaci softwaru, přenos map atd. Modul disponuje vysílacím výkonem řádově stovky mW a několika napájecími nízkoodběrovými módy. Modul je adresovatelný, adresový prostor je 255 adres, tedy i modulů v dosahu. Kromě několika externích součástek a antény je na desce modulu integrováno veškeré obvodové vybavení potřebné pro jeho provoz. Anténa byla použita čtvrtvlnná, její délka je 86,4mm. Komunikační rozhraní je tvořeno standardní SPI sběrnicí (vodiče 59, 60, 31,

67), reset vodičem (63) a IRQ vodičem (RF IRQ 58). Protože všechny ostatní multiplexované IRQ kanály používají jako aktivní úroveň H, bylo nutno IRQ negovat, protože modul používal jako aktivní úroveň L. Více informací o protokolech a nastavení RF modulu lze nalézt v originálním datasheetu viz [38].

[34], [38]

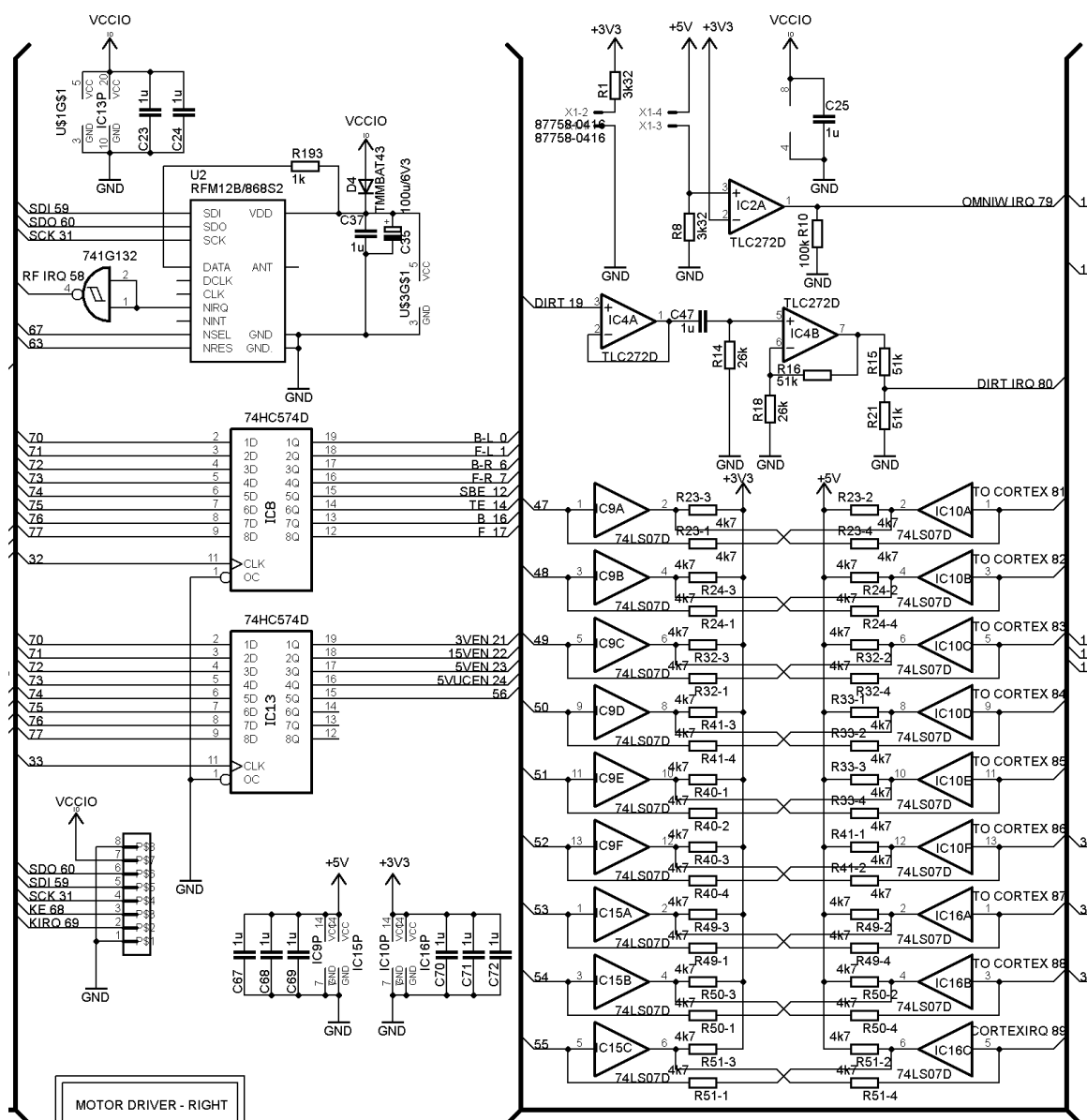
8.5.7 AVR – ARM Level shifter a komunikační rozhraní

Jako komunikační rozhraní mezi primárním a sekundárním řídicím systémem bylo použito paralelního rozhraní. Jmenovitě jeden celý 8bit port byl pro tuto komunikaci vyhrazen. Toto řešení bylo voleno z toho důvodu, že SPI sběrnice sekundárního systému může být značně vytížena. Komunikace mezi systémy probíhá tak, že jeden ze systémů pošle na své výstupní porty data a vydá žádost o přerušení. Druhý řídicí systém pak přijme data vystavená na sběrnici.

Protože každý z řídicích systémů je realizován logikou s jinou napětíovou úrovní (primární systém používá 3V3 logiku a sekundární 5V), bylo nutno řešit obousměrné přizpůsobení logických úrovní. Tento level shifter byl opět realizován diskretně, protože integrované obvody řešící tento problém jsou buď nedostupné, nebo nepřípustně drahé, nebo nevhodné pro tuto aplikaci. Level shifter byl navrhnut za pomoci neinvertujících budičů sběrnice s otevřeným kolektorem, obvodu 74LS07. Pro jeden komunikační vodič jsou vždy použity budiče dva. Popis zapojení bude proveden ve směru od sekundárního systému k primárnímu, na směru však nezáleží. Vstup budiče s otevřeným kolektorem (IC9A) je připojen přímo na IO port mikrokontroleru Atmega128 (vodič č. 47). Budič IC9A je napájen z +5V napájecí větve, jeho výstup (otevřený kolektor) je připojen přes R23-4 na IO port mikrokontroleru ARM (vodič č. 81) a zároveň přes rezistor R23-3 na 3V3 napájecí větev. Na IO portu mikrokontroleru ARM (vodič č. 81) je také připojen vstup druhého budiče sběrnice, IC10A, který je ovšem napájen z napájecí větve 3V3. Jeho výstup je opět připojen přes R23-1 na IO port mikrokontroleru Atmega128 (tedy i na vstup IC9A) a zároveň přes rezistor R23-2 na +5V napájecí větev. Budiče jsou tedy zapojeny do kříže. Pro úspěšnou komunikaci platí, že na začátku komunikace z jakékoliv strany, musí být všechny komunikační vodiče ve vysoké logické úrovni, včetně IRQ vodiče. Pro tento IRQ kanál jako pro jediný platí, že je aktivní v nízké logické úrovni. Celkem je level shifterů devět (8 datových + IRQ). Vodiče sekundárního řídicího systému jsou 47-55 a primárního 81-89.

[34], [40], [41]

8.5.8 Schéma zapojení pro kapitoly 8.5.5 – 8.5.7



Obr. 17 Schéma zapojení pro kapitoly 8.5.5-8.5.7

8.6 Primární řídicí systém

Jádrem primárního řídicího systému je výkonný mikrokontroler řady ARM SAM9XE. Maximální kmitočet jádra je 200MHz, tedy poskytuje rozumný výkon pro jednoduché zpracování obrazu pro tuto aplikaci. Zcela jistě by bylo pohodlnější použít některé z jader s vyšším maximálním kmitočtem, mikrokontrolery obsahující tato jádra jsou však již zapojeny do BGA pouzder. Pro tyto pouzdra je nezbytná čtyřvrstvá deska plošných spojů, což by významně prodražilo výrobu. Mikrokontroler řady SAM9XE byl použit především pro maximální kmitočet jádra, možnosti montáže pouzdra a integrovanou 512kB programovatelnou FLASH paměť. Mikrokontroler dále disponuje 32kB RAM pamětí, DMA kontrolerem a spoustu dalšího implementovaného HW. Popsán bude pouze ten HW kontroleru, který byl použit.

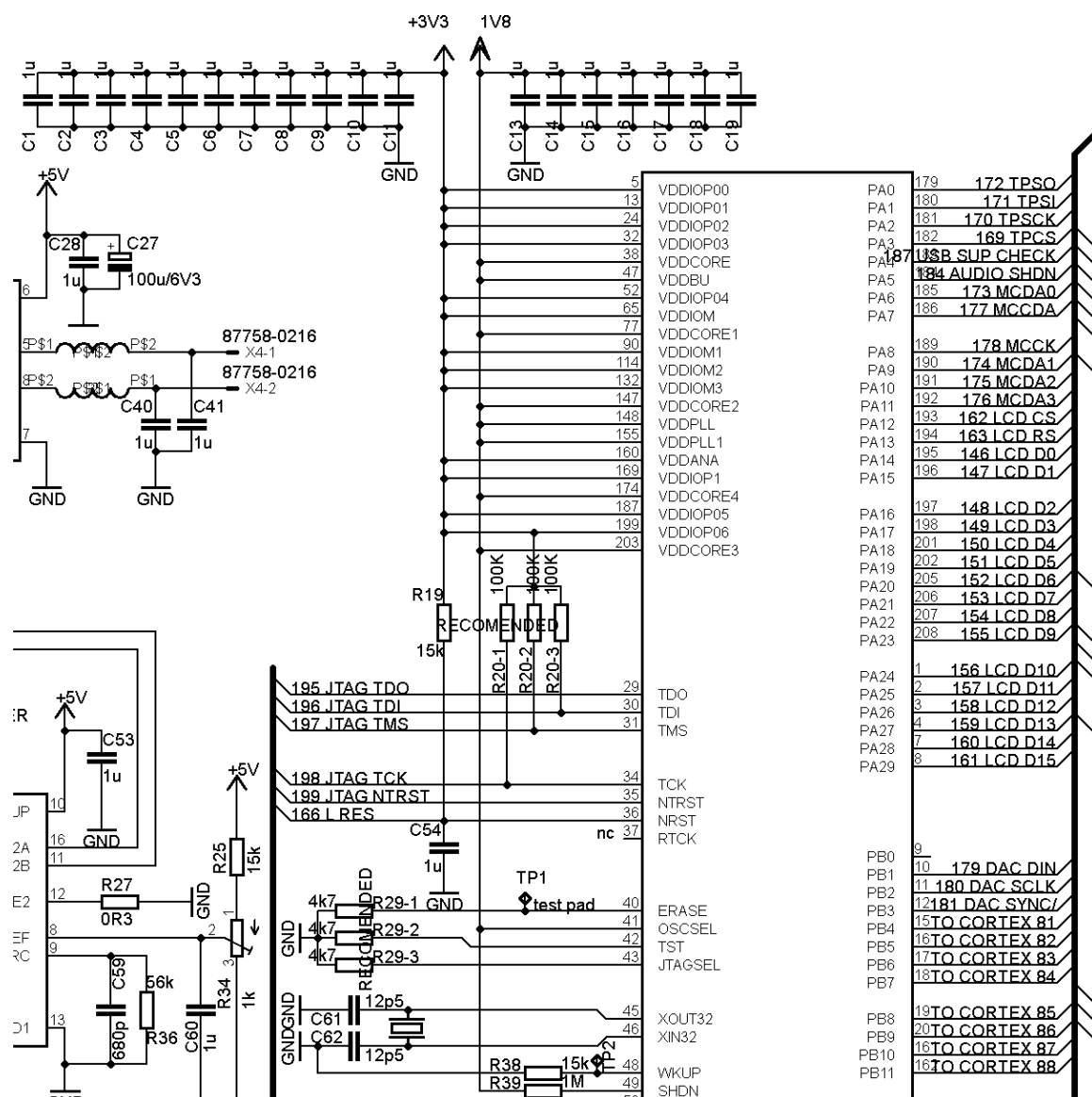
SAM9XE vyžaduje pro svou činnost dvě napájecí napětí. Jedno pro napájení jádra kontroleru (větev 1V8) a druhé pro napájení IO (větev 3V3). Kontroler má svůj vlastní power management, který je detailně popsán v [41]. Veškeré napájecí piny kontroleru musí být důsledně blokovány kondenzátorem proti elektrické zemi. V opačném případě mohou vzniknout na napájecích pinech zátky, což by mohlo způsobit náhodné změny v datech a chybovost, případně i reakci obvodů watch dog a resetování kontroleru.

Mikrokontroler SAM9XE vyžaduje pro svou činnost dva oscilátory. První oscilátor, slow clock mode oscilátor, běží na kmitočtu 32,768 KHz a je využíván v úsporných a nízko odběrových módech kontroleru. Dále je také využit při měření kmitočtu na výstupu PLLA, násobičky kmitočtu. Kontroler nabízí možnost volby mezi integrovaným RC oscilátorem nebo externím krystalovým. V tomto případě byl použit externí krystalový oscilátor. Druhý oscilátor, main oscilátor, běží na kmitočtu 16 MHz a je připojen na vstupy obou násobiček kmitočtu PLLA, PLLB a dále do přepínačů hodinových signálů (master clock controller). Master clock controller je tvořen přepínačem hodinových signálů (možnost volby SLCK-slow clock, MAINCK-main oscilátor, PLLACK a PLLBCK-výstupy PLL násobiček) a děličkou. Výstup děličky je pak MCK-master clock, který je pak veden do jádra a dalšího HW. Kmitočet díky násobičkám a děličkám je tak možno nastavovat v širokém rozmezí hodnot. Protože hodinový signál pro USB kontroler je možno syntetizovat pouze z PLLB, byl pro syntézu hodinového signálu MCK byl použit výstup PLLA (PLLA také dokáže zpracovat vyšší kmitočty). Pro PLLA musí být implementován externí RC filtr (PLLRCF). Jeho dělicí kmitočet musí být nastaven mezi dobou náběhu PLL a hodnotou, kdy je výstupní kmitočet PLLA vyšší než požadovaný. Tento filtr zamezuje rozkmitání násobičky na vyšší harmonické požadovaného kmitočtu. Pro návrh filtru byla použita aplikace přímo vyvinuta firmou Atmel. Aplikace je volně přístupná na webových stránkách firmy Atmel.

Pro komunikaci přes USB slouží USB Device Port. Mikrokontroler však implementuje také USB Host Port. Ten však nebude pro tuto aplikaci potřebný. USB Device Port je zapojen dle doporučení datasheetu mikrokontroleru SAM9XE. USB vodiče DDM a DDP lze připojit přes rezistory 27R (doporučeno datasheetem) přímo k IO kontroleru. Napájecí napětí z USB není využito, slouží však k detekci připojení k USB Host Port. Napájecí napětí z USB konektoru je přes odporový vodič připojeno k PA4 (vodič USB_SUP_CHECK_187).

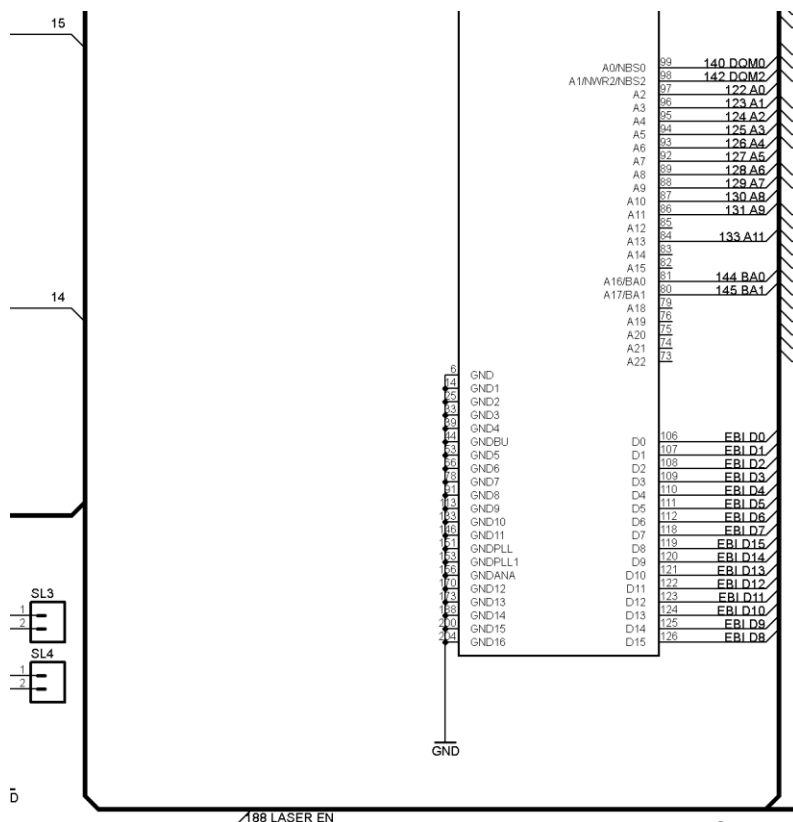
Mikrokontroler SAM9XE umožňuje programování interní FLASH pomocí paralelního rozhraní, nebo pomocí JTAGu. Pro programování interní paměti FLASH bylo použito standardního rozhraní JTAG.

[40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52], [53], [54]



Obr. 18 Schéma zapojení-primární řídicí systém část1





Obr. 20 Schéma zapojení-primární řídicí systém část 3

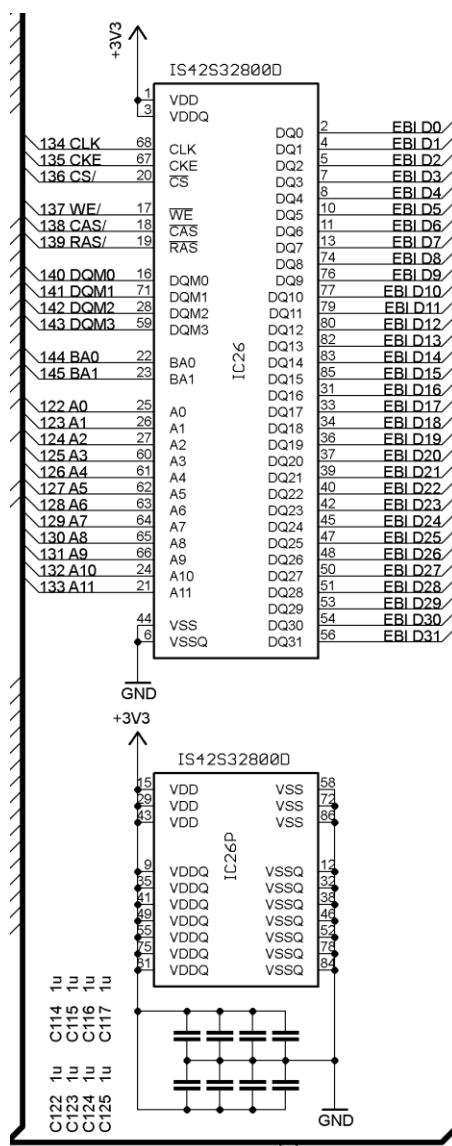
8.6.1 SDRAM

Protože i jediný obraz přenášený kontrolerem k zobrazení do LCD modulu je několikanásobně větší, než interní statická paměť RAM, musela být použita externí RAM. Při výběru její velikosti musel být brán zřetel také na to, že bude zpracováván obraz z kamery. Jeden obraz má velikost 3,9 MB. Kvůli dostatečné paměťové rezervě byla vybrána dynamická paměť RAM (SDR) o kapacitě 256Mbit. Přesněji o kapacitě 8Mx32bit, tedy 32MB. Jedná se o paměť firmy ISSI, typové označení IS42S32800D. Tento obvod (IC26), který má šířku datové sběrnice 32bit, byl vybrán z toho důvodu, že při stejném hodinovém kmitočtu je průchodnost dat čtyřikrát vyšší, než pro 8bit šířku sběrnice. Je sice možné použít 4 x 8bit paměti, ale toto řešení zabírá mnoho místa na DPS.

Pro napájení paměti je použita 3V3 napájecí větev. Je třeba velmi důsledně blokovat všechny napájecí piny paměti kondenzátorem proti elektrické zemi. Při nedostatečném blokování může dojít k zákrmitům v napájení, které způsobí chybné uložení nebo adresaci dat. Napájecí blok paměti je ve schématu oddělen od části obsahující interface. Napájecí blok je značen IC26P.

Mikrokontroler SAM9XE má integrován SDRAM řadič, který dokáže obsáhnout adresový prostor až 256MB. Řadič se také stará o automatickou obnovu dat v paměti. Pro připojení paměti je tedy využito standardní sběrnice. Ta se skládá z 32 datových vodičů (EBI D0_90 až EBI D31_121). Dále pak z dvanácti adresových vodičů (A0_122-A11_133). Vodiče BA0 a BA1 slouží pro přepínání paměťových bank (celkem čtyři). Pro vysvětlení funkce ostatních vodičů bude vhodnější toto konzultovat s originálním datasheetem [43] str7. Mikrokontroler SAM9XE má integrovaný DMA kontroler, který zajišťuje přenos dat po interních sběrnicích kontroleru bez asistence jádra. Bohužel tento DMA kontroler nedokáže ovládat externí HW. Kmitočet hodinového signálu paměti bude nastaven na polovinu kmitočtu jádra, tedy 100MHz. Paměti RAM pak budou využívány tak, že z mikro SD karty nebo kamery budou načtena potřebná data a ta budou uložena v externí SDRAM. Interní statická RAM bude v zásadě sloužit jako cash paměť jádra.

[41], [43], [53]



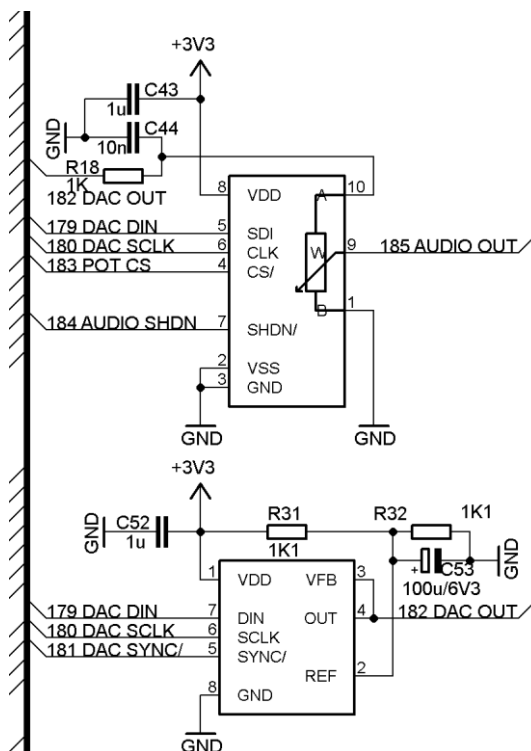
Obr. 21 Schéma zapojení-RAM

8.6.2 Audiovýstup

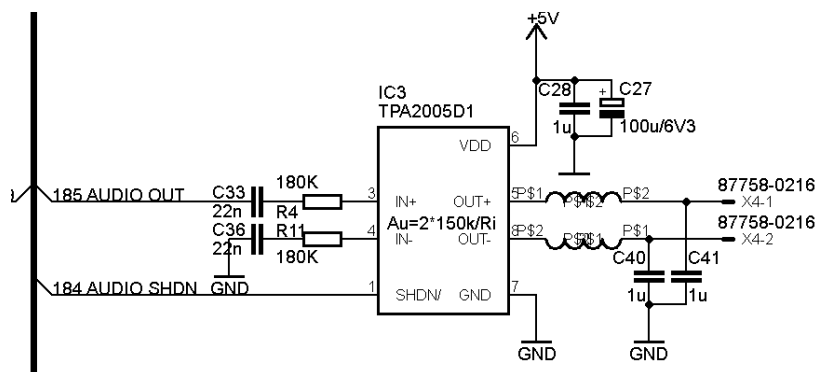
Význam audiovýstupu je čistě informační, aby uživatel měl představu o tom, co po něm robot chce. Prosté pípání má pro uživatele malou informační hodnotu. Robot takto může uživatele upozornit, například že se zasekl v kabeláži, že se mu netočí rotační kartáč, může jej upozornit na plný sběrný koš, nebo na poruchu, kterou detekuje. Zároveň může robot uživateli radit, co má dělat aby problém vyřešil.

Zvukové zařízení robota se skládá ze tří částí. DAC převodník, digitální potenciometr, koncový zesilovač. Jako DAC převodník (DAC1) byl použit obvod firmy Analog Devices AD5662. Jedná se o jednokanálový 16bit DAC s nízkým odběrem. Pro přenos dat do DAC byla použita SPI1 sběrnice (vodiče 179,180) a chip select kanál SPI1_NPCS0 (vodič 181). DA převodník je napájen z 3V3 napájecí větve. Reference pro DAC je odvozena odporovým děličem od napájecího napětí a filtrována tantalovým kondenzátorem. Digitální potenciometr (IC7) je použit proto, aby bylo možno ovládat hlasitost zvukového projevu robota. Pro tento účel byl použit opět obvod firmy Analog Devices – AD5201. Tento digitální potenciometr má 33 pozic pomyslného jezdce, což pro naše účely bohatě dostačuje. Digitální potenciometr je rovněž napájen z větve 3V3. Pro nastavení digitálního potenciometru byla použita sběrnice SPI1 a chip select kanál SPI1_NPCS1. Výstupní signál DA převodníku je filtrován dolní propustí o dělicím kmitočtu 15,9KHz. Tento filtrovaný signál je připojen na vstup A digitálního potenciometru, vstup B je připojen na elektrickou zem a pomyslný běžec slouží jako výstup (W). Tento signál (vodič 185 Audio out) je přiveden na vstup výkonového zesilovače (IC3), obvodu TPA2005D1 od firmy Texas Instruments. Tento výkonový zesilovač je schopen dodat výkon až 1,4W. Zesilovač je třídy D, tedy jeho výstup má charakter PWM, což zajišťuje maximální účinnost. Zesilovač je napájen z větve +5V. Jeho polomostové výstupy (VO+, VO-) jsou filtrovány LC filtrem, dle doporučení datasheetu 33uH a 1uF, dělicí kmitočet je tedy 27KHz. Filtrovaný výkonový výstup je připojen přímo na reproduktor, tedy na konektor X4. Rezistory R6 a R12 nastavují zesílení zesilovače, to je nastaveno na $A_u=1,6$.

[41], [47], [48], [49], [54]



Obr. 22 Schéma zapojení -audiovýstup část 1



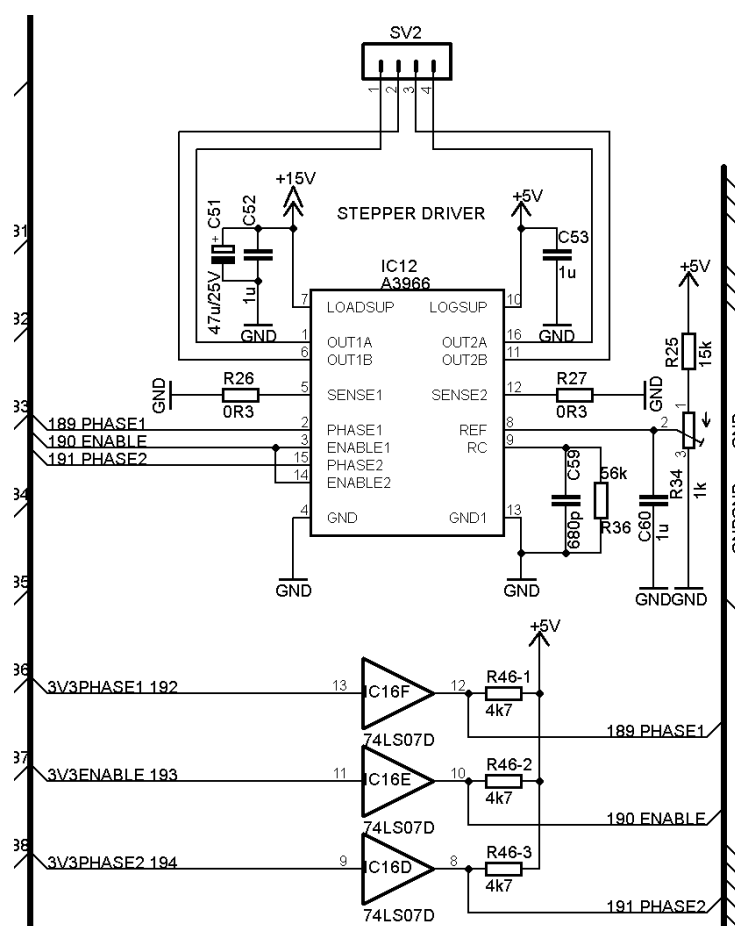
Obr. 23 Schéma zapojení -audiovýstup část 2

8.6.3 Řízení krokového motoru pro autofocus

V důsledku toho, že se robot bude pohybovat po místnosti, nebude kamera snímat obraz v konstantní vzdálenosti. Proto je nutné doostřování objektivu na cíl. K tomuto účelu bude sloužit krokový motorek, jeho řízení a SW metoda pro autofocus. V této části dokumentace se budeme zabývat pouze HW částí. Ta je tvořena krokovým motorkem z DVD mechaniky. Zde slouží pro posuv čtecí optiky. Motorek bude přes řemen pohybovat s ústrojím optiky a doostřovat obraz z kamery. Pro řízení motorku byl použit obvod firmy Allegro – A3966. Jedná se o duální H most s PWM řízením sloužící pro řízení dvoufázových krokových motorů. Obvod je schopen dodávat až 650mA do

zátěže. Budič je ovládán třemi vodiči (Phase1 189, Phase2 191 a Enable 190). Protože budič (IC12) vyžaduje napájení 5V a je napájen z +5V napájecí větve, musel být opět použit level shifter (IC16D, IC16E, IC16F). Tentokrát je však zapotřebí pouze jednosměrný. Překládány jsou logické úrovně na vodičích 3V3Phase1 192, 3V3Phase2 193 a 3V3Enable 193, které jsou přímo připojeny na IO kontroleru Sam 9XE. Pro napájení zátěže (vinutí motoru) je použita 15V napájecí větev. Výkon motoru je řízen pomocí PWM, jehož duty cycle je nastavován pomocí trimru R33 a také závisí na velikosti rezistorů R27 a R28. Trimr je použit pouze pro vývojové účely, v konečné fázi bude nahrazen pevným rezistorem. Kondenzátor C54 a rezistor R35 určují kmitočet PWM. Ten je nastaven na 25KHZ (dle doporučení datasheetu).

[40], [41], [42]



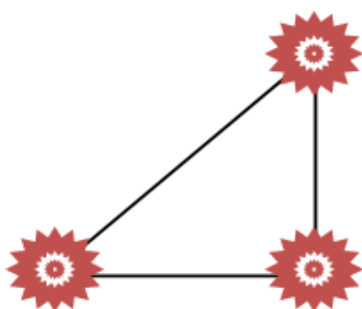
Obr. 24 Schéma zapojení-řízení krokového motoru-autofocus

8.6.4 Ovládání kamery

Komunikační protokol kamery prozatím nebyl podrobně prostudován, kamera je připojena pomocí standardu ISI (Image Sensor Interface) integrovaného přímo v mikrokontroleru SAM9XE. Kamera je připojena vodiči č. 200 – 213.

8.6.5 Budič LASERů

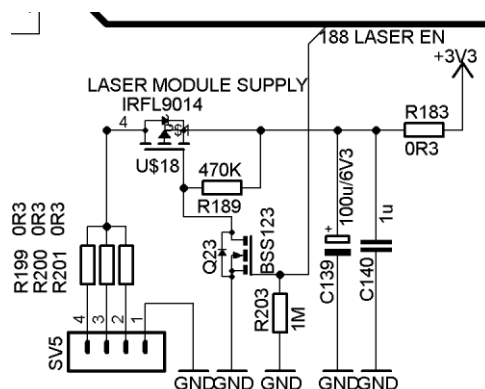
Lasery budou sloužit pro měření vzdálenosti objektů před robotem. Lasery budou tři a budou uspořádány do pravoúhlého trojúhelníku, viz **Obr. 25**. Díky tomuto uspořádání, bude možné měřit jak vzdálenost cíle, tak zjišťovat, zda se v určité výšce nenachází překážka také, jestli tedy robot pod překážkou projede. Přesná mechanická konfigurace laserů zatím není známa.



Obr. 25 Hrubé mechanické uspořádání laserů

Zapojení je velmi jednoduché. Z napájecí větve 3V3 je odebírán potřebný proud do zátěže. Ten teče přes omezující rezistor 0,3R. Napětí za omezujícím rezistorem je filtrováno kondenzátory C139, C140. Filtrované napětí je pak připojeno na tranzistorový spínač, který spíná všechny tři lasery najednou. Proud laserovými diodami teče přes omezující rezistory R199, R200 a R201, jejichž hodnota prozatím není známa, nebyly dosud vybrány laserové diody, které budou použity.

[55]



Obr. 26 Schéma zapojení-budič laserů

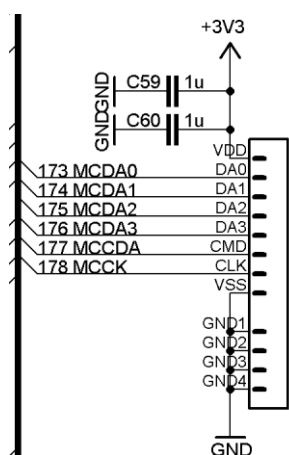
8.6.6 Mikro SD karta

Mikro SD karta bude sloužit k uložení audio stop pro komunikaci s uživatelem, k uložení uživatelského nastavení, map uklízených prostor, plánování a časování uklízení, pokud nebude interní 512KB FLASH paměť mikrokontroleru dostačovat, pak i k uložení softwaru. Na paměťovou kartu bude možno zapisovat pomocí USB nebo RF

modulu. To umožní aktualizaci softwaru, zálohování map uklízených prostorů nebo personifikaci audio stop.

Pro přístup k mikro SD kartě slouží standardní interface detailně popsán v dokumentu SD Memory Card Specification v1.0 [46], tento je plně kompatibilní s MCI interfacem kontroleru. Karta je napájena z větve 3V3 a její piny DA0-DA3, CLK a CDA jsou připojeny přímo k mikrokontroleru (vodiče 173-178). K mechanickému připojení karty slouží konektor MCC-SDMICRO/1, který je realizován jako výklopný. Konektor je přístupný pouze po odstranění krytu zařízení, SD karta není myšlena jako výměnná, prozatím není znám žádný důvod výměny karty uživatelem (mimo poruchu).

[41], [46]



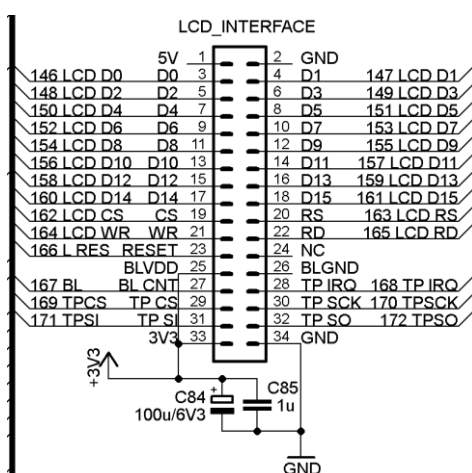
Obr. 27 Schéma zapojení-mikro SD karta

8.6.7 Ovládání LCD, Touchpadu

LCD a touchpad budou používány pro komunikaci s uživatelem. LCD bude zobrazovat veškeré důležité údaje o robotu, potřebné ovládací prvky, nebo například zobrazovat mapu uklízených prostor. Touchpad zajistí dotykové ovládání. Uživateli bude pomocí dotykového ovládání umožněno prohlížet si hlášení, upravovat nastavení robota, nebo zadávat například zakázané zóny pohybu robota. Pro tyto účely byl zakoupen hotový modul, který kombinuje 320*240 RGB LCD a touchpad. Typové označení je HY_32D, název 3.2inch 320x240 Touch LCD(A)Screen Touch SPI ADS7843,LCD SSD1289 TFT LED 320*240. Modul byl zakoupen pod tímto označení na portálu e-bay. Celý modul je napájen z napájecí větve 3V3. Modul může být napájen buď 5V napájením (pin konektoru č. 1), přičemž pak bude napájecí pin (č. 33) schopen dodávat do dalších zařízení 3V3 napájení (modul má vlastní měnič), nebo může být modul napájen přímo napětím 3V3, potom ale musí zůstat druhý napájecí pin (č. 1) nezapojen. Jak již bylo řečeno, v tomto případě je modul napájen větví 3V3, tedy pinč. 1 zůstává nezapojen.

Touch panel je ovládán speciálním obvodem firmy Burr Brown, ADS7843. Tento obvod využívá pro komunikaci SPI interface, k mikrokontroleru připojen na SPI0. Obvod disponuje nastavitelnou přesností převodu a to buď 8, nebo 12 bitů a rychlostí konverze až 125 000 konverzí za vteřinu. Výstupní data obsahují přímo hodnotu napětí na styku folií touch screenu. Je tedy nutno provést dvě konverze (pro každou osu) a z těchto dvou údajů stanovit souřadnice dotyku. Obvod dále disponuje výstupem PENIRQ, který vyvolává přerušení při dotyku.

Displej je standardní TFT panel s rozlišením 320x240. Pro podsvícení panelu jsou použity LED diody. Jako řadič byl použit obvod firmy Solomon Systech, SSD1289. Obvod je přímo navržen pro buzení 320x240 RGB TFT displejů. Disponuje také vestavěnou statickou obrazovou RAM pamětí. Pro přenos dat do LCD řadiče je možno využít sériový přenos dat (SPI) nebo paralelní 16bit. V tomto případě byl použit paralelní přenos dat. Paměť spolu s řadičem umožňují funkce jako Picture In Picture (PIP), scrollování, mód částečného zobrazení, oknové adresování. Řadič také dokáže pomocí speciální funkce upravovat gama křivku, uložit až čtyři nastavení gama korekce. Data z RAM paměti displeje je také možno zpětně vyčítat. Interface je tvořen 21 vodiči. Z těchto je 16 vodičů datových (A0-D15). Další vodiče jsou CS (Chip Select), RS (volba zápisu H-instrukční registr, L-datový registr), WR (Write), RD (Read), RESET a BLCNT (jas podsvícení). Jas podsvícení je možno nastavovat pomocí PWM (TIOB0,



PC9). Pro zápis a čtení platí speciální postup, kdy pomocí vodičů WR, RD je jednak nastavován směr toku dat a jednak slouží jako CLK signál. Pokud je na vodičích WR=L a RD=H, pak je zapisováno do paměti řadiče LCD. Pokud WR=H a RD=L, pak je z paměti čteno. Vodiče jsou k mikrokontroleru připojeny tak, že vodičem WR je nastavován směr toku dat a vodič RD je připojen na výstupní hodinový signál mikrokontroleru SAM9XE. Celý popis vodičů pro interface modulu lze nalézt v Příloze 3.

[41], [44], [45], [54]

Obr. 28 Schéma zapojení-LCD+touch screen

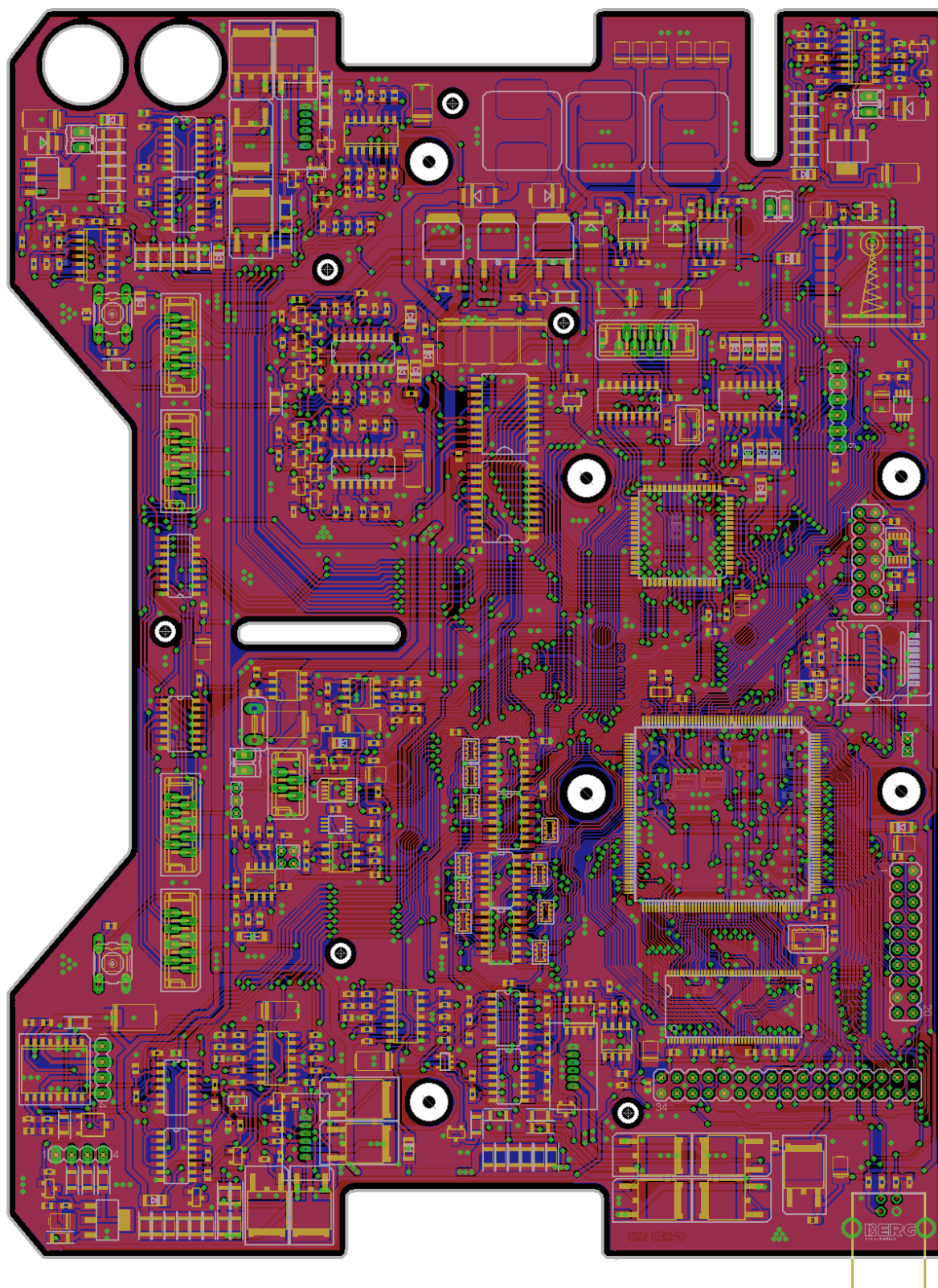
9 NÁVRH DPS

Deska plošných spojů byla realizována jako dvouvrstvá, což s sebou nese řadu komplikací při jejím návrhu. Nejmenší rozměr spoj/mezera byl použit 150 μ m. VIA body pak používají 0,3mm vrtání. Pro tento návrh by zcela jistě bylo vhodnější použití čtyřvrstvé DPS, což by výrazně urychlilo a zjednodušilo její návrh a také zlepšilo parametry pro vysoké kmitočty, zejména pak pro připojování RAM paměti k mikrokontroleru SAM9XE. Dvouvrstvá deska byla použita opět z toho důvodu, že její cena je oproti čtyřvrstvé poloviční, ovšem její použití je na hranici možností dvou vrstev.

Při návrhu bylo třeba dbát zvýšené pozornosti zejména při vedení a rozlévání zemního vodiče. Případný vznik zemních smyček by mohl způsobit neschopnost funkce na požadovaných kmitočtech (nejkritičtější situace při propojování RAM paměti). Taktéž připojování blokovacích kapacit bylo nutno věnovat patřičnou pozornost, zejména blokovacích kapacit obou mikrokontrolerů a paměti RAM. Při návrhu desky byla snaha seskupit prvky funkčních celků do bloků, pro vyšší přehlednost. Až na drobné výjimky jsou tedy výše popisované části řídicí jednotky v jednom bloku.

Připojení řídicí jednotky k akumulátoru je realizováno pomocí čtyř pájecích ploch ze strany bottom. K těmto ploškám budou připájeny pružiny, které budou doléhat na vývody akumulátoru. Konektory pro připojení jednotky rotačního kartáče i obou pohonů kol jsou zapájeny rovněž ze strany bottom. K použitému RF modulu je nutno po jeho zapájení připájet ještě prutovou anténu. Délka antény byla stanovena na 86,4mm. Tyčová anténa musí být umístěna v horizontální poloze nad horní stranou desky alespoň ve vzdálenosti 15-20mm od desky.

Dále je nutno zmínit, že při propojování paměti RAM s mikrokontrolerem SAM9XE bylo třeba zkontrolovat, zda poměry délek vodičů nezpůsobí příliš velkou desynchronizaci časových sledů řídicích signálů paměti RAM. Zejména pak dobu, za kterou urazí elektrický signál dráhu od pinu mikrokontroleru k pinu paměti pro nejdelší vodič a speciálně pro vodič CLK. Všechny signál musí přijít na piny paměti RAM s definovaným předstihem oproti CLK, jinak budou zapsána buď neplatná data, nebo platná data na neplatnou adresu, případně obojí. Z výpočtů bylo zjištěno, že signál putuje po nejdelším vodiči 0,373ns a po vodiči CLK 0,093ns. To tedy znamená, že signál na nejdelším vodiči bude o 0,28ns zpožděn za CLK. Paměť RAM potřebuje předstih před CLK signálem 1,5ns. Mikrokontroler SAM9XE však vysílá signály s předstihem, který má 0,5ns rezervu (celkem tedy 2ns) kvůli komplikacím výše uvedeným. Z tohoto tedy plyne, že všechny vodiče budou mít předstih před signálem CLK minimálně 0,22ns, tedy časovací požadavky by měly být dodrženy.



Obr. 29 DPS-řídící deska pro vysávací robot

10 ZHODNOCENÍ NÁVRHU ŘÍDICÍ DESKY

Bylo navrženo schéma zapojení komplexního řídicího systému vysávacího robota. Zapojení je tvořeno dvěma řídicími systémy, primárním a sekundárním. Primární řídicí systém slouží pro mapování prostoru, obsluhu kamery, LCD, komunikaci s uživatelem a okolím pomocí USB portu. Sekundární řídicí systém slouží k obsluze veškerého hardwaru (kromě výše zmíněného). Použitý mikrokontroler SAM9XE pro primární řídicí systém je jedním z nejvýkonnějších na trhu, který ještě není pouzřen do BGA pouzder.

Návrh DPS byl značně komplikován omezením desky na dvouvrstvou. Pro tyto účely by byla zcela jistě vhodnější deska čtyřvrstvá, nicméně tato je dvakrát dražší než deska dvouvrstvá. Při návrhu DPS bylo třeba dávat pozor na vedení vodičů s analogovým signálem a vodičů PWM, aby nedocházelo k rušení analogových signálů. Dále bylo v celku problematické efektivně rozvádět sedm napájecích větví. Díky dostupnosti technologie výroby DPS 0,15mm vodič/mezera a 0,3mm via bod byl návrh desky značně usnadněn. Problematické bylo rovněž propojení vodičů mezi mikrokontrolerem SAM9XE a pamětí RAM, kdy již bylo nutno počítat délky vodičů pro kontrolu časových zpoždění signálů.

Pro chlazení výkonových prvků na desce nebylo použito žádného přídavného chladiče, výkonové prvky jsou chlazeny pouze pomocí chladicích plošek přímo na DPS. Dle předpokladů se toto chlazení ukázalo jako zcela dostačující, výkonové prvky se zahřívají jen mírně. Pod DPS v těle robota je umístěna hliníková folie krytá plastovou folií pro izolaci. Hliníková folie slouží jako stínění a je nutno ji připojit k řídicí desce, optimálně v jediném bodě přímo u pružiny připojující katodu akumulátoru k desce.

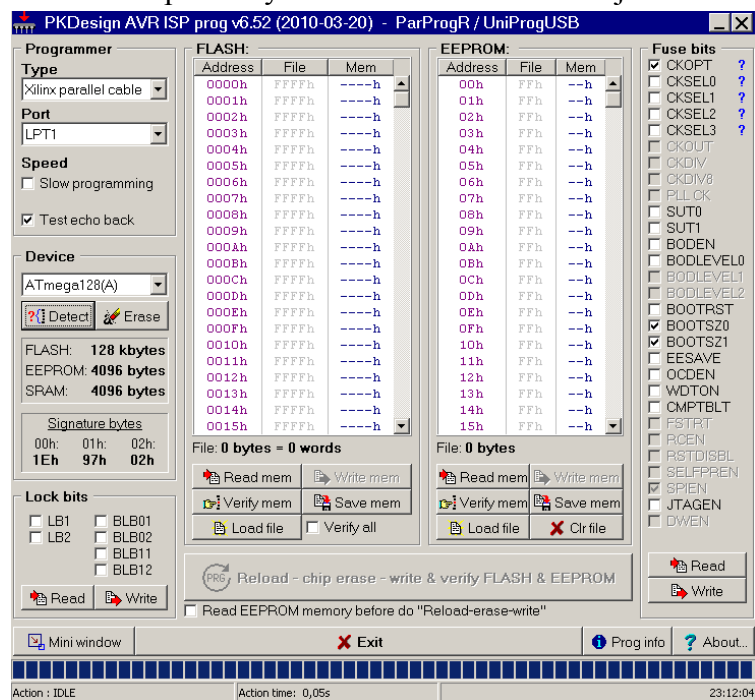
Přestože bylo vynaloženo značné úsilí k eliminaci chyb a kontrole zapojení, bylo nalezeno v zapojení několik chyb. Některé z nich jsou spíše poznámkou pro úpravu praktického rázu a nemají vliv na funkčnost, některé byly přehlédnuty při kontrole, všechny známé chyby, jejich popis a způsob nápravy jsou uvedeny v **příloze č. 5 Errata**. Žádná z těchto chyb však nemá zásadní vliv na funkčnost celku.

11 ŘÍDICÍ SOFTWARE

Pro navrženou řídicí desku je nutné vyvinout dva programy, jeden pro primární a druhý pro sekundární řídicí systém. Zde se budeme zabývat pouze programem pro sekundární řídicí systém. Tento software má za úkol obsluhu základního hardwaru robota a to tak, aby jeho provoz byl bezpečný, využití energie akumulátoru efektivní a pohyb robota snadno matematicky definovatelný. Pro náročnost tohoto úkolu byla vyvinuta pouze část softwaru sekundárního řídicího systému, která zajišťuje reakci robota na překážky, na výškové rozdíly podlahy, které robot není schopen překonat (například schody), proudovou ochranu a obsluhu veškerých pohonů, obsluhu snímačů a měření analogových veličin a obsluhu napájecích zdrojů.

11.1 Nastavení fuse bitů

Správné nastavení fuse bitů pro mikrokontroler Atmega128 je velmi důležité a zařízení bez něj nebude pracovat správně. Po kontrole DPS (zejména napájecích zdrojů) je možné připojit ISP programovací kabel (konektor SV3 v levé horní části desky), přes který je zapisováno do paměti FLASH a EEPROM mikrokontroleru. Pro tento zápis byl použit volně dostupný program AVR ISP Programmer v6.52. Po připojení programovacího kabelu a zapnutí napájecích zdrojů stačí kliknout na tlačítko „Detect“, čímž si program načte informace o mikrokontroleru. Nyní již můžeme přepsat fuse bity. Ty jsou nastaveny tak, aby byl hodinový signál generován pomocí externího krystalu s 64ms prodlevou pro ustálení oscilátoru, dále je nutno zakázat rozhraní JTAG a rovněž zakázat compatibility mód. Nastavení fuse bitů je znázorněno na obrázku níže.



Obr. 30 AVR ISP Programmer

11.2 Popis proměných

11.2.1 Konstanty

```
#define THIWL 0x0048    //prah proud kol
#define THIWR 0x006c    //prah proud kol
#define THIT 0x0045     //prah proud turbina
#define THISB 0x0030    //prah proud side brush
#define THIMB 0x0048    //prah proud main brush
#define THUACUH 0x01bf  //prah napeti aku-nabito
#define THUACUL 0x0095  //prah napeti aku-temer vybito-k zakladne
#define THUACULL 0x000f //prah napeti aku-kriticke-vypnout vse
#define THTACUH 0x01fbf //prah teplota vysoka-snizit vykon (PWM)
#define THTACUHH 0x02ff //prah teplota kriticka-uspat
#define THBASE 0x00ff   //prah reakce na BASE signal (detekce základny)

#define THCD 0x0050     //prah cliff detect-podlahovy IR prox
#define THOB 0x01cf     //prah obstacle-primy IR prox
```

11.2.2 Analogové proměnné

```
unsigned char ADCCT=1;    //pocitadlo kanalu externiho MUX
unsigned char M_INI=255;  //konstanta pro rozbeh motoru

//plovouci prumer ulozen v poslednim prvku pole [8], prvky 1-7 slouzi
//pro prumerovani plovoucim prumerem

unsigned short IRPLL=0;   //hodnota proximitni snimac LL
unsigned short IRPL=0;    //hodnota proximitni snimac L
unsigned short IRPR=0;    //hodnota proximitni snimac R
unsigned short IRPRR=0;   //hodnota proximitni snimac RR
unsigned short IRPFL=0x3ff; //hodnota proximitni snimac podlaha LL
unsigned short IRPFL=0x3ff; //hodnota proximitni snimac podlaha L
unsigned short IRPFR=0x3ff; //hodnota proximitni snimac podlaha R
unsigned short IRPFRR=0x3ff; //hodnota proximitni snimac podlaha RR
unsigned short ILW[9]={0}; //proud leve kolo
unsigned short IRW[9]={0}; //proud prave kolo
unsigned short IMB[9]={0}; //proud main brush
unsigned short ISB[9]={0}; //proud side brush
unsigned short IT[9]={0};  //proud turbina
unsigned short UACU[9]={0}; //napeti akumulatoru
unsigned short TACU[9]={0}; //teplota akumulatoru
unsigned short BASE[6]={0}; //detekce IR zareni zakladny
unsigned char FACTR=0;     //pomocna promenna pro plovouci prumer

unsigned short OCR1A_VAL=0; // PWM - leve kolo
```



```

unsigned short OCR1B_VAL=0;    // PWM - prave kolo
unsigned short OCR1C_VAL=0;    // PWM - main brush/charger

```

11.2.3 Logické proměnné

```

typedef unsigned char bool;

// PWR STATUS
bool EN5V=0;                //aktualni stav zdroje 5V
bool EN5VCCIO=1;            //aktualni stav zdroje 5VCCIO
bool EN3V3=0;               //aktualni stav zdroje 3V3
bool EN15V=0;               //aktualni stav zdroje 15V
bool NEW_EN5V=0;            //nasledujici stav zdroje 5V
bool NEW_EN5VCCIO=1;        //nasledujici stav zdroje 5VCCIO
bool NEW_EN3V3=0;           //nasledujici stav zdroje 3V3
bool NEW_EN15V=0;           //nasledujici stav zdroje 15V
bool UACUL=0;               //nizke napeti AKU
bool UACULL=0;              //kriticke napeti AKU
bool UACUH=0;               //AKU nabito
bool charger_flag=0;        //pripojena nabijecka?, v registru PWRMO
                             //uvedeno zda se nabiji

unsigned char PWRMOD=0x00;
//|x|x|job?|full op|quick ret|charging|sleep|PWR off|

unsigned char DRIVER=0xff;
//|x|F=H/B=L|FR=H/BR=L|FR=H/BR=L||STOP T|STOP SB|STOP MB|STOP kola|

```

11.2.4 Ostatní

```

unsigned char wait_for_job=0x00;    //pocitadlo pro cekani na instrukce
                                     //od primarnioho ridiciho systemu
unsigned char proximity_flag = 0x00;
// |LL-F|LL-C|L-F|L-C||R-F|R-C|RR-F|RR-C|
//registr identifikace prekazek IR proximitnimi snimaci

unsigned char tactile_flag = 0x00;
// |x|x|x|x||x|x|L|R|
//registr identifikace prekazek taktilnimi snimaci

```

11.2.5 Podrobný popis proměnných PWRMOD a DRIVER

Zvláštní pozornost je třeba věnovat proměnným PWRMOD a DRIVER. Proměnná PWRMOD v sobě nese informaci o módu robota. Bit 0 – PWR off značí požadavek na vypnutí všech napájecích zdrojů robota. Robot poté přejde do stavu, kdy je jej možno

zapnout pouze tlačítkem ON/OFF. K aktivování tohoto stavu dojde pouze pokud bude napájecí napětí (tedy napětí akumulátoru) kritické a bude hrozit poškození akumulátoru dalším provozem ($U_{aku} = THUACULL$). Tento bit bude možno měnit pouze tak, že sekundární řídicí systém předá požadavek na celkové vypnutí primárnímu, ten uloží potřebná data a vydá příkaz na vypnutí zpět sekundárnímu systému. V kódu je tento bit měněn pouze pro vývojové účely. V tomto módu robot odebírá z akumulátoru proud pouhých 120uA (tedy výkon cca 1,5mW).

Bit 1 – sleep je nastaven v případě, že robot dokončil veškerou práci a není třeba aktivita žádných periférií, kromě nabíječky, která v tomto režimu může pracovat. Rovněž klávesnice (pokud je jí LCD nahrazen) a RF modul. Sleep mód je mód spánku, ze kterého se robot může sám probudit (například uplynutím nastaveného časového intervalu pro úklid nebo aktivitou RF modulu). V tomto módu je odběr z akumulátoru 60mA (tedy cca 750 mw).

Bit 2 – charging je nastaven při požadavku na nabíjení robota. Pro počátek nabíjení musí být zároveň ve vysoké logické úrovni proměnná „charger_flag“. Bity „sleep“ a „charging“ jsou jediné dva bity, které mohou být nastaveny zároveň. Po dokončení nabíjení je tento bit nulován (logická proměnná „charger_flag“ však zůstává nastavena, dokud je připojena nabíječka).

Bit 3 – quick_ret je nastaven, pokud je napětí akumulátoru menší než THUACUL. V tomto módu robot vypíná rotační kartáč, boční kartáč i turbínu a snaží se co nejrychleji dostat zpět k základně pro opětovné nabití. Po návratu k základně se tento režim deaktivuje, zapne se sleep mód a robot se nabíjí. Po dokončení nabíjení je robot opět připraven k práci.

Bit 4 – full op je mód plné aktivity robota. Do tohoto módu robot přechází ihned po zapnutí, poté čeká na instrukce primárního řídicího systému. Pokud žádné neobdrží, přejde do režimu spánku.

Bit 5 – job? Je bit, který definuje, zda má robot požadavek na nějakou akci, nebo je možno přejít do režimu spánku. Prozatím je příjem tohoto bitu v programu simulován prostým nastavením, později však bude robot čekat na jeho příjem od primárního řídicího systému.

Proměnná DRIVER definuje nastavení pohonů. Bity 0-3 jsou stop bity. Bit 0 – STOP kola je nastaven v případě, že robot narazí na překážku, nebo dojde k namotání nějakého předmětu na některou z rotačních součástí, případně pokud tak primární řídicí systém žádá. Zcela obecně, pokud je detekován zvýšený proud některým z budičů pohonů, jsou nastaveny všechny stop bity. Poté bude robot zjišťovat, zda je schopen se z dané situace vyprostit. V případě, že dojde ke zvýšenému protékání proudu motorem

turbíny, je vypnuta pouze turbína, rotační a boční kartáče pokračují v provozu. Později bude uživatel upozorněn na nutnost údržby. Samozřejmě primární řídicí systém bude mít možnost tyto bity nastavovat/nulovat. Jako první však má vždy přednost sekundární řídicí systém, respektive funkce pro měření a vyhodnocování analogových veličin a to z bezpečnostních důvodů. Zbýlé tři bity (4-6) slouží k nastavení směru otáčení motorů pohonů.

11.3 Popis funkcí

11.3.1 Funkce INI

Tato funkce slouží pro inicializaci proměnných, nastavení portů, respektive jejich pinů na vstupní/výstupní. Po nastavení I/O pinů jsou inicializovány hodnoty výstupních pinů a na výstupy obou D-KO (rozšíření portu A) jsou přepsány hodnoty 0x00. Poté jsou inicializovány oba shora popsané registry PWRMOD a DRIVER do patřičných stavů a tyto stavy jsou aplikovány funkcemi „update status“ a „update suply“, popsanými v následujících podkapitolách.

Dále jsou inicializovány AD převodník a jeho prescaler (1/128), externí přerušeni (všechny aktivní při náběžné hraně, pouze přerušeni od primárního řídicího systému aktivní v L úrovni – INT 2). Taktéž proběhne inicializace časovačů. Časovače TC0 a TC2 budou použity pro měření otáček, jsou prozatím deaktivovány. Časovač TC1 slouží pro generování PWM signálu, jeho OCR registry (OCR1A, OCR1B a OCR1C) jsou nastavovány na požadovaný výkon dynamicky řídicím softwarem. Předdělička je nastavena na 1, tedy přímo CLK mikrokontroleru, bitová délka čítacích registrů pak na 10 bitů. Registr OCR1A pak určuje střidu PWM levého kola, OCR1B střidu pravého kola a OCR1C určuje střidu rotačního kartáče/nabíječky. Časovač TC3 slouží pro generování časových intervalů pro vzorkování, je nastaven rovněž bez předděličky, časovač začíná počítat od nuly při dosažení hodnoty OCR3A=0x3FFF. Tato hodnota určuje vzorkovací periodu 1024us, tedy vzorkovací kmitočet cca 1KHz. Tímto kmitočtem však není vzorkován každý snímač zvlášť, ale snímače se střídají. AD převodník mikrokontroleru Atmega128 měří celkem 16 analogových veličin, tedy periodu vzorkování je nutno ještě násobit 16. To odpovídá cca 61Hz vzorkovacímu kmitočtu analogových veličin měřených AD převodníkem mikrokontroleru.

Nakonec jsou pro testovací účely zapnuty proximitní snímače (bylo prokázáno, že jejich současné sepnutí nevede ke zkreslení výsledků), je nastavena proměnná „watt_for_job“, která zajišťuje čekání na instrukce primárního řídicího systému, jsou spuštěny časovače a jsou nastaveny provozní proměnné jako simulace příkazů primárního řídicího systému.

11.3.2 Funkce update_status

Tato funkce je volána vždy při změně registru DRIVER. Volání této funkce mohou způsobit celkem čtyři události. První událostí je příkaz primárního řídicího systému (prozatím neimplementováno), druhou stisk tlačítka ON/OFF nebo funkce ini, tedy uspávání/probouzení robota, třetí je nepřijetí instrukcí od primárního řídicího systému v časovém intervalu daném dekrementací proměnné watt_for_job v přerušení od TC3 a čtvrtou – instrukce vyhodnocování snímačů analogových veličin, tedy z přerušení od ADC. Funkce jednoduše nastaví budiče pohonů na požadovaný stav přepsáním dat z portu A na výstupy D-KO1 (IC8).

11.3.3 Funkce update_suply

Tato funkce je volána vždy při změně registru PWRMOD. Změnu tohoto registru mohou vyvolat čtyři události. První je příkaz primárního řídicího systému (prozatím neimplementováno), druhou je spuštění funkce ini (tedy při zapínání/vypínání), třetí je stisk tlačítka ON/OFF (zde prozatím simulována funkce primárního řídicího systému) a čtvrtou je nepřijetí instrukce primárního řídicího systému v časovém intervalu definovaném dekrementací proměnné watt_for_job.

Funkce po zavolání kontroluje registr PWRMOD a podle něj definuje nové nastavení napájecích zdrojů (NEW_EN5V, NEW_EN5VCCIO, NEW_EN3V3 a NEW_EN15V). Napájecí větev 15V je možno pomocí nastavení registru PWRMOD možno pouze vypínat, zapíná se dodatečným nastavením proměnné NEW_EN15V. To z toho důvodu, aby uživatel mohl procházet a měnit nastavení robota aniž by byla potřeba zvýšena o obvodové vybavení připojené na napájecí větev 15V.

Po zkontrolování registru PWRMOD začne funkce porovnávat nové stavy napájecích zdrojů s aktuálními. Pokud se stavy liší, vygeneruje funkce impuls, kterým je daný zdroj zapnut/vypnut. Toto je jediný případ, kdy je v programu použito aktivní čekání. V tomto případě je přínosem, protože robot není schopen korektně fungovat, dokud nenaběhne daný zdroj, nebo se naopak nevypne a nevybijí se filtrační kondenzátory. Speciální zacházení vyžaduje vypínání napájecí větve VCCIO (tedy celého 5V zdroje, tím i celého robota), kdy je nutno počítat s tím, že stiskem tlačítka je robot zapnut vysokou logickou úrovní na vstupu SET J-KO. Pokud je robot vypínán, pak tato funkce vygeneruje impuls pro vypnutí, nicméně dlouhé držení tlačítka může znemožnit vypnutí zdroje. Rovněž několikanásobní zmáčknutí tlačítka ON/OFF. Proto při změně mezi aktuálním a žádaným stavem zdroje, která může nastat pouze při vypínání (při zapínání je nastaveno funkcí ini), tedy již nezáleží na dalším běhu programu, všechny zdroje jsou vypnuty a HW přiveden do bezpečného stavu. Proto je v tomto případě program zacyklen a generuje impulsy pro vypnutí zdroje cyklicky s prodlevou cca 1s, čímž je dosaženo spolu se zakázáním přerušení spolehlivého

vypnutí zdroje. Nakonec jsou aktuální (nyní již staré) hodnoty proměnných stavů zdrojů přepsány novými.

11.3.4 Přerušení ISR(INT7_vect)

Z tohoto přerušovacího vektoru je volána obslužná rutina přerušení od IRQ multiplexeru. Funkce postupně přepíná zdroje přerušení a zkoumá, ke kterému přerušení došlo. Prozatím byla implementována obsluha přerušení od ON/OFF tlačítka a od taktilních snímačů nárazníku.

V případě stisku ON/OFF tlačítka rutina zjišťuje, zda je zapnut 3V3 zdroj. Pokud zdroj není zapnut, znamená to, že primární řídicí systém není aktivní, je tedy možno robota přepnout do režimu spánku ihned. To je učiněno patřičným nastavením registrů DRIVER a PWRMOD a voláním výše popsaných příslušných obslužných funkcí. Pokud je však zdroj zapnut, znamená to, že je primární řídicí systém aktivní. V tomto případě jsou vypnuty všechny pohony a je odeslána zpráva primárnímu řídicímu systému, který se připraví na vypnutí a odešle příkaz k vypnutí. Prozatím je implementována pouze simulace. Pokud jsou současně vypnuty napájecí větve 3V3 a 5V, pak je robot v režimu spánku a je volána funkce ini.

Pokud došlo k nárazu na překážku, jsou vyhodnoceny logické úrovně taktilních snímačů. Nejprve je aktivována brzda pohonů kol, poté jsou nastaveny příslušné bity v registru tactile_flag a nakonec je vyslána zpráva primárnímu řídicímu systému. Nastavení pohonů rotačního kartáče, bočního kartáče a turbíny se nemění. Předpokládá se okamžité přijetí další instrukce a pokračování v jízdě jiným směrem, proto vypínat tyto pohony nemá smysl.

11.3.5 Přerušení ISR(TIMER3_COMPA_vect)

V tomto přerušení je spouštěn AD převodník mikrokontroleru, tedy zahájena konverze. Výsledek konverze je vyhodnocen v přerušení od AD převodníku. Dále je zde realizován beznárazový rozjezd pohonů kol a rotačního kartáče. Proměnné OCR1A_VAL, OCR1B_VAL a OCR1C_VAL definují požadované nastavení PWM signálu daných pohonů. OCR registry (náležící vlastnímu HW mikrokontroleru) jsou v každém tomto přerušení inkrementovány až do dosažení požadované hodnoty. Tímto je snížen jednak proudový a jednak mechanický ráz při spínání pohonů. Avšak i přes použití tohoto pozvolného rozjezdu je proudový impuls takový, že by při něm reagovaly proudové ochrany realizované v přerušení od ADC. Proto je při každém rozjezdu každého pohonu inicializována proměnná M_INI, která představuje zohlednění proudového impulsu při spouštění pohonů a je přičítána k prahové konstantě. V každém tomto přerušení je dekrementována a tak se její vliv snižuje až k nule, poté platí konstanty prahů proudů uvedeny v kapitole 11.2.1.

Dále funkce počítá časový interval, ve kterém musí přijít instrukce od primárního řídicího systému. Pokud instrukce nedorazí, robot se přepne do režimu spánku.

11.3.6 Přerušení ISR(ADC_vect)

Toto přerušení je vyvoláno při dokončení AD převodu. Obsahuje vyhodnocení všech analogových veličin měřených mikrokontrolerem (tedy kromě celkového proudu akumulátoru). Prozatím bylo implementováno vyhodnocení všech IR proximitních snímačů a snímačů proudu (kromě snímače celkového proudu akumulátoru). Tyto veličiny lze kompletně měřit a vyhodnocovat. Kód pro vyhodnocení napětí a teploty akumulátoru byl sice napsán, nicméně nebyl nikdy testován. Zcela prozatím chybí vyhodnocení signálu základny.

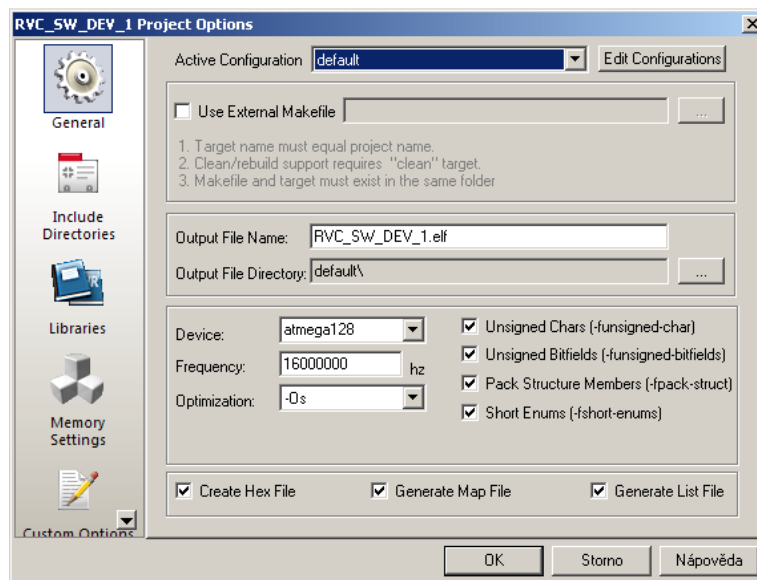
Rutina je tvořena strukturou SWITCH, kdy je vyhodnocování jednotlivých analogových proměnných přepínáno dle počítadla ADCCT. Po dokončení vyhodnocování každé jednotlivé analogové veličiny jsou ihned přenastaveny multiplexery (jak interní v mikrokontroleru tak externí), aby bylo dostatek času pro ustálení měřených napětí.

Vyhodnocování signálů IR proximitních snímačů je řešeno prostým porovnáváním s prahovými konstantami z kapitoly **11.2.1**. Pokud je na základě tohoto vyhodnocení stanoveno, že je před robotem překážka, rutina nastaví pohony kol do režimu brzdění (nastavení odpovídajícího stop bitu v registru DRIVER a voláním funkce update_status) a podá zprávu primárnímu řídicímu systému.

Vyhodnocování měření ostatních veličin (napětí aku, proud jednotlivými bloky, teplota aku, snímač základny) je složitější. Pro všechna vyhodnocování (kromě signálu základny) je použit výpočet plovoucího průměru o osmi prvcích (0-7), v prvku č. 8 je uložen výsledek průměrování. Plovoucí průměr je řešen zápisem nového prvku na místo nejstaršího (podstatně rychlejší než posuv celého pole), sečtením všech prvků pole a součet posunut o tři bity doprava, čímž je realizováno dělení osmi. Tento výsledek je pak porovnáván s konstantami prahů definovanými opět v kapitole **11.2.1**.

11.4 Nastavení kompilátoru

Software pro robotický vysavač byl vyvíjen, debugován i kompilován v programovacím prostředí AVR Studio 4. Kompilátor byl nastaven následně:



Obr. 31 Nastavení kompilátoru

11.5 Představa o dalším vývoji kódu

Další vývoj kódu bude směřovat nejprve k měření otáček, které bude provedeno jako měření časového intervalu mezi dvěma impulsy snímače otáček. Pokud by totiž bylo realizováno jako měření počtu impulsů za jednotku času, nastal by problém s regulací otáček. Jednak aby bylo možno nějakým rozumným způsobem zaručit přesnost, bylo by nutno zaručit, aby během definovaného časového intervalu bylo načteno alespoň pět impulsů. Další velkou nevýhodou je, že tento definovaný časový okamžik by musel být buď nepřiměřeně dlouhý, zejména kvůli možnosti jízdy robota při nízkých otáčkách, nebo proměnný, což by zřejmě byl velký problém pro regulační algoritmus, který bude vyvíjen hned následně za měřením otáček.

Dále budou dokončeny části kódu obsluhy zbytku hardwaru (zejména nabíječka) a bude vyvíjen interpret mikrokódu a vlastní mikrokód, což bude vlastně protokol, pomocí kterého budou oba řídicí systémy komunikovat. Poté bude možno začít pracovat na primárním řídicím systému, kdy zřejmě bude vhodné začít rovněž interpretem mikrokódu, kdy by již byly připraveny zprávy od sekundárního řídicího systému. Naprostou nezbytností bude naprogramování sebelokalizace robota ve dvourozměrném prostoru pomocí inerciální navigace, algoritmy mapování okolního prostoru, generátor reakcí na události (překážky, zaseknutí kol.), generátor instrukcí pro sekundární řídicí systém a teprve nakonec obsluhu LCD displeje a kamery.

12 ZÁVĚR

V rámci této diplomové práce byl vyvinut IR proximitní snímač pro detekci překážek, který byl testován na různých materiálech při mnoha různých nastavení vzdáleností a úhlů natočení terče. Naměřením těchto dat byla získána představa o chování snímače v reálném prostředí, na základě těchto měření byl stanoven práh pro detekci překážky a dále byla vytvořena metoda pro přesnější identifikaci překážky s menším rozptylem vzdáleností v závislosti na materiálu povrchu snímaného objektu. Přestože je tato metoda přesnější a její výstupy mají podstatně nižší rozptyl, nebyla pro jednoduchost prozatím implementována a vyvinutý software používá prosté prahování. Proximitní snímač podlahy se díky jeho mechanické konstrukci zaručující vyšší citlivost prokázal jako velmi spolehlivý. Robot dokáže spolehlivě rozeznat výškový rozdíl 10cm i za špatných podmínek, tedy za předpokladu velmi tmavého podkladu na vyšší úrovni (testováno s černým filcem) a velmi světlého podkladu na nižší úrovni (testováno s bílým papírem).

Dále bylo vyvinuto zapojení kompletního řídicího systému a veškerého potřebného hardwaru pro chod robota. Pro toto zapojení byla navržena dvouvrstvá DPS s technologií 150um spoj/mezera a průměr vrtání via bodů 0,3mm. Pro tyto účely bylo vhodnější použití čtyřvrstvé desky, dvouvrstvá byla však použita kvůli finančním úsporám. Zároveň byl vytvořen koncept technologie, kterou zatím žádný komerčně dostupný model nepoužívá a nejsou známy informace o vývoji podobného zařízení. Pro účely realizace tohoto konceptu byl vyvíjen celý řídicí systém. Hlavní myšlenkou tohoto konceptu je použití pokročilé navigace, která uživateli umožní přímé značení uklízených prostor, zakázaných prostor a oddělení prostorů úklidu a jejich prioritu pomocí robotem vytvořené mapy okolí a uživatelským rozhraním tvořeným LCD displejem disponující touchscreenem. Uživatelské rozhraní rovněž může tvořit osobní počítač po připojení robota k PC pomocí USB kabelu. Použití tohoto konceptu zaručí, že nebude po uklízených prostorách nutno umisťovat žádné další zařízení pro ohrazení uklízených prostor. Dále pak použití kamery a aktivní triangulace pomocí LASERů umožní přesnější měření vzdáleností, které bude pro tento koncept klíčové. Rovněž umožní detekci nestandardních překážek, například jako kapalné nečistoty, na které robot nesmí najet, nedokáže si poradit s jejich odstraněním a tyto nečistoty bude roznášet do okolí (největší problém současného robotického vysávání).

Poslední částí této diplomové práce je návrh řídicího softwaru. Během této diplomové práce se podařilo vzhledem k časové náročnosti celého projektu naprogramovat pouze část programu sekundárního řídicího systému. Robot je nyní schopen zapínat/vypínat napájecí zdroje (přechody mezi různými provozními režimy), ovládat veškeré snímače analogových veličin (kromě měření celkového proudu akumulátoru a signálu základny), dále ovládat veškeré pohony, reagovat na překážky (jak před robotem tak co se týká nepřekonatelných výškových rozdílů). V neposlední

řadě jsou již implementovány a otestovány proudové ochrany jednotlivých pohonů. Rovněž byla vytvořena představa o dalším postupu ve vytváření kódu.

Ačkoliv bylo vynaloženo značné úsilí na kontrolu zapojení a eliminaci chyb, bylo přesto nalezeno několik chyb v zapojení, které jsou všechny vyjmenovány a podrobně popsány v příloze č. 5 Errata. Některé záznamy jsou chybami, některé spíše praktickými poznámkami pro případ další revize návrhu zapojení. Žádná z těchto chyb však zásadním způsobem neovlivňuje funkci robota.

13 CÍLE K DOSAŽENÍ

Cíle k dosažení pro další práci na robotu jsou zcela jasné. Nejdříve bude dokončen program pro sekundární řídicí systém, který bude rovněž otestován simulovaným příjmem instrukcí přes debugovací interface. Tento interface používá stejný konektor, který slouží k připojení klávesnice. Pro tyto účely bude však nutno vytvořit nějaký debugovací nástroj, který bude možno k rozhraní připojit. Poté budou pokračovat práce na primárním řídicím systému. Nejprve bude třeba vyvinout navigaci a mapování okolních prostorů, poté GUI a ovládací rutinu pro LCD, aby byla možná komunikace s uživatelem a rovněž jednodušší debugování. Bude následovat generování příkazů při nějaké události pro sekundární řídicí systém. Jako poslední bude pozornost věnována obsluze kamery.

Hlavním cílem tedy je dosáhnout provozuschopnosti systému a stavu robota dle myšlenky původního konceptu této technologie.

14 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Robotický vysavač-cz* [online]. c2001, poslední revize 23.5.2011 [cit. 2011-5-30]. Dostupné z : < <http://www.roboticky-vysavac.cz/>>.
- [2] *iRobot-Specialista na robotiku* [online]. c1996, poslední revize 18.3.2011 [cit. 2011-5-30]. Dostupné z : < <http://www.irobot.cz/>>.
- [3] *CleanMate-Robotické vysavače* [online]. c1999, poslední revize 5.4.2011 [cit. 2011-5-30]. Dostupné z : < <http://www.cleanmate.cz/>>.
- [4] *iClebo-Robotické vysavače* [online]. c1998, poslední revize 2.3.2011 [cit. 2011-5-30]. Dostupné z : < <http://www.iclebo.cz>>.
- [5] *AROBOT-Robotické vysavače, Robotické sekačky, Bazénové vysavače-home* [online]. c2001, poslední revize 13.3.2011 [cit. 2011-5-30]. Dostupné z : < <http://www.arobot.cz/>>.
- [6] *Robotické vysavače, S námi zapomenete na luxování* [online]. ARobot 29.8.2009 [cit. 2011-5-30]. Dostupné z : < http://www.arobot.cz/doc_download/roboticke-vysavace-1-1011223108.pdf>.
- [7] *Alza.cz-nejlevnější obchod s počítači a elektronikou* [online]. c1997, poslední revize 29.5.2011 [cit. 2011-5-30]. Dostupné z : < <http://www.alza.cz/>>.
- [8] *Robotické vysavače, recenze, diskuse a prodej Goddess* [online]. c2000, poslední revize 18.4.2011 [cit. 2011-5-30]. Dostupné z : < <http://roboticke-vysavace.elektromedia.cz>>.
- [9] *Robotické vysavače RobZone* [online]. c2000, poslední revize 3.5.2011 [cit. 2011-5-30]. Dostupné z : < <http://www.robzone.cz/>>.
- [10] *What do rats hear?* [online]. c2003, poslední revize 2004 [cit. 2011-5-30]. Dostupné z : < <http://www.ratbehavior.org/rathearing.htm>>.
- [11] Robert C. Beason, *What Can Birds Hear?*. USDA Wildlife Services, National Wildlife Research Center, 2004. 96 s.
- [12] John G. Webster, *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*, University of Wisconsin, CRC Press, 1999. 2,630 s. ISBN 3-540-64830-5.
- [13] Joseph J. Jones, et. al., *Mobile Robots - Inspiration to Implementation*, A K Peters, CRC Press, 1999. 486 s. ISBN 1-56881-097-0.
- [14] *GaAs/GaAlAs IR Emitting Diode TSAL6100*. Heilbron, Germany: Vishay Semiconductor, 1999. 5 s.
- [15] *High Power Infrared Emitting Diode TSAL5100*. Heilbron, Germany: Vishay Semiconductor, 2008. 5 s.
- [16] *NPN T-1 ¼ Standard 5mm Photodetector LTR-3208*. Hsinchu, Taiwan.: Liteon Corporation 1982. 6 s.
- [17] *Phototransistor Products Specification HPTB5-14D-B*. Taichung Shien, Taiwan: Huey Jann Electronics. 2000. 5 s.
- [18] *Silicon NPN Phototransistor BPV11F*. Heilbron, Germany: Vishay Semiconductor, 1999. 6 s.

- [19] *TLC272 Precision Dual Operational Amplifier*. Dallas, Texas: Texas Instruments. 1994. 36 s.
- [20] *2-Input NAND Schmitt Trigger*. Denver, Colorado, USA: On Semiconductor. 2004. 6 s.
- [21] *Schottky Diodes BAT42, BAT43*. Heilbron, Germany: Vishay Semiconductor, 2002. 3 s.
- [22] *Fully Integrated, Hall Effect Based Linear Current Sensor ACS712*. Worcester, Massachusetts, USA: Allegro MicroSystems, Inc. 2007. 14 s.
- [23] *Ultra Low On-Resistance HEXFET IRRF5505*. California, USA: International Rectifier. 1997. 11 s.
- [24] *High Voltage Step Down Regulator A8499*. Worcester, Massachusetts, USA: Allegro MicroSystems, Inc. 2006. 7 s.
- [25] *CMOS Dual J-K Master-Slave Flip-Flop CD4027B*. Dallas, Texas: Texas Instruments. 1998. 7 s.
- [26] *HEXFET Power MOSFET IRF9014*. California, USA: International Rectifier. 2004. 8 s.
- [27] *Quad 2-Input NOR Gate DM74LS02*. Huntsville, Alabama, USA: Fairchild Semiconductor Corporation. 2000. 5 s.
- [28] *Triple 3-Input AND Gate DM74LS11*. Huntsville, Alabama, USA: Fairchild Semiconductor Corporation. 2000. 5 s.
- [29] *HEXFET Power MOSFET IRF7389*. California, USA: International Rectifier. 2004. 10 s.
- [30] *3-Terminal 0.1A Positive Voltage Regulator 78L12*. Huntsville, Alabama, USA: Fairchild Semiconductor Corporation. 2000. 15 s.
- [31] *Analog Multiplexers/Demultiplexers CD54/74HCT4051*. Dallas, Texas: Texas Instruments. 2004. 27 s.
- [32] *8-Bit Parallel Out Serial Shift Registers SN54HC164, SN74HC164*. Dallas, Texas: Texas Instruments. 1997. 7 s.
- [33] *Quartz Crystal Unit XT324/424*. New Taipei City, Taiwan: YIC Corporation. 2001. 1 s.
- [34] *8-bit AVR Microcontroller with 128K Bytes in-System Programmable Flash ATmega128*. San Jose, California, USA: Atmel. 2009. 386 s.
- [35] *Ultralow Noise LDO XFET Voltage References with Current Sink and Source ADR440/ADR441/ADR442/ADR443/ADR444*. Norwood, Massachusetts, USA: Analog Devices. 2010. 20 s.
- [36] *High-Speed CMOS Logic8-Input Multiplexer*. Dallas, Texas: Texas Instruments. 2003. 11 s.
- [37] *14-Bit 250Ksps PULSAR Pseudo Differential ADC in MSOP/QFN, AD7942*. Norwood, Massachusetts, USA: Analog Devices. 2008. 24 s.
- [38] *RFM-12B Universal ISM Band FSK Transceiver*. Shenzhen, Guangdong, China: HopeRF Electronic. 2006. 41 s.

- [39] *High Speed CMOS Logic Octal D-Type Flip-Flop, 3-State Positive-Edge Triggerd, CD54/74HC374, CD54/74HC574*. Dallas, Texas: Texas Instruments. 2004. 20 s.
- [40] *Hex Buffers/Drivers with Open Collector High Voltage Outputs SN54/7407*. Dallas, Texas: Texas Instruments. 2004. 16 s.
- [41] *AT91 ARM Thumb Microcontrollers AT91SAM9XE512*. San Jose, California, USA: Atmel. 2010. 860 s.
- [42] *Dual Full Bridge PWM Motor Driver A3966*. Worcester, Massachusetts, USA: Allegro MicroSystems, Inc. 1998. 9 s.
- [43] *8M x 32, 256Mb Synchronous DRAM, IS42S32800D*. San Jose, California, USA: ISSI Corporation. 2009. 60 s.
- [44] *240 RGB x 320 TFT LCD Controller Driver integrated Power Circuit, Gate and Source Driver with built in RAM, SSD1289*. Shatin, N.T., Hong Kong: Solomon Systech. 2006. 81 s.
- [45] *Touch Screen Controller ADS7843*. Tucson, Arizona, USA: Burr-Brown. 1998. 12 s.
- [46] *Micro SD Card Product Specification Version 1.0*. Hsin-Chu, Taiwan: TwinMOS Technologies, Inc. 2001. 13 s.
- [47] *2.7V to 5.5V, 250uA, Rail to Rail Output 16 bit nanoDAC in SOT23, AD5662*. Norwood, Massachusetts, USA: Analog Devices. 2010. 24 s.
- [48] *256 Position and 33 Position Digital Potentiometers AD5200/AD5201*. Norwood, Massachusetts, USA: Analog Devices. 2001. 16 s.
- [49] *1.4W Mono Filter Free Class D Audio Amplifier TPA2005D1*. Dallas, Texas: Texas Instruments. 2004. 26 s.
- [50] *CFPX-217 Crystals*. Taiwan: IQD Frequency Products. 1997. 1 s.
- [51] *AT91SAM9XE Microcontroller Series Schematic Checklist*. San Jose, California, USA: Atmel. 2009. 16 s.
- [52] *Getting Started with AT91SAM9XE Microcontrollers*. San Jose, California, USA: Atmel. 2008. 23 s.
- [53] *Using SDRAM on AT91SAM9XE Microcontrollers*. San Jose, California, USA: Atmel. 2006. 23 s.
- [54] *Using the Serial Peripheral Interface (SPI) with AT91SAM9XE Microcontrollers*. San Jose, California, USA: Atmel. 2006. 11 s.
- [55] *HEXFET Power MOSFET, IRFL9014*. California, USA: International Rectifier. 2004. 8 s.

15 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	Měření IR proximitních snímačů
Příloha č. 2	Přehled zapojení vodičů
Příloha č. 3	LCD interface
Příloha č. 4	Partlist řídicí desky
Příloha č. 5	Errata
Příloha č. 6	Fotografie řídicí desky
Příloha č. 7	Schéma zapojení řídicí desky