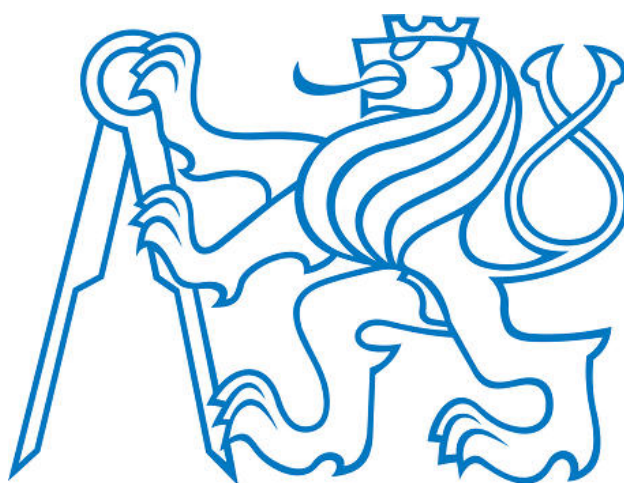


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
Katedra řídicí techniky



**Model linky na rozřazování barevných
víček od PET lahví**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Praha 2010

Vypracoval: Michal Hrouda

Vedoucí práce: Ing. Martin Hlinovský, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....

podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Martinu Hlinovskému Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce. Dále bych rád poděkovat všem známým, kolegům a kamarádům, kteří mi poskytovali inspiraci při psaní této práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat celé mojí rodině, která mi při studiu poskytuje zázemí a podporu.

Abstrakt

Tato práce pojednává o vývoji elektronických a mechanických dílů modelu třídící linky, která demonstruje funkčnost vyvinutých senzorů a řídicích jednotek. Elektronika se sestává z jednotky řízení servomotorů Servo7QG, která řídí servomotory robotického ramene PidiArm, jednotky pro řízení pásového dopravníku, senzoru barvy a vzdálenosti a hlavní desky, která ostatní jednotky obsluhuje prostřednictvím sběrnice I²C. Hlavní deska je dále schopna vykonávat třídění víček od PET lahví dle uživatelem zvolených barev a funguje jako most mezi komunikačním rozhraním RS232 a sběrnici I²C. Uživatelské rozhraní je zprostředkováno znakovým displejem a tlačítky umístěnými na hlavní desce a také počítačovou aplikací implementovanou v prostředí .NET v jazyce C#.

Klíčová slova: robotické rameno, mikrokontrolér, model linky, programování

Abstract

This work deals with development of electronic and mechanic parts for model of assorting line demonstrating functionality of developed sensors and control units. The electronics consists of servo control unit Servo7QG, controlling servo motors of robotic arm PidiArm, conveyor belt control unit, sensor of color and proximity, and the main board controlling all the units mentioned above via I²C bus. The main board is further more capable of assorting PET bottle lids according to user-defined colors and works as a bridge between communication interface RS232 and I²C bus. User interface consists of character display, buttons located on the main board and also PC application implemented in the .NET environment and programmed in C#.

Keywords: robotic arm, microcontroller, assorting line, programming

Obsah

Seznam tabulek	vii
1. Úvod	1
2. Rozbor zadání	2
3. Hardware	4
3.1. Sběrnice I ² C	6
3.1.1. Použitá zapojení sběrnice I ² C	7
3.2. Komunikační rozhraní RS232	8
3.3. Napájecí obvody	9
3.4. Displej s řadičem HD44780	10
3.5. Měření barvy	11
3.6. Měření vzdálenosti	13
3.6.1. Obvod TSOP34836 a IR LED	13
3.7. H-můstek a měření proudu	15
3.8. Použité mikrokontroléry	17
3.8.1. Mikrokontrolér MC9S08QG8	17
3.8.2. Zapojení mikrokontroléru na desce senzorů	18
3.8.3. Zapojení mikrokontroléru jednotky Servo7QG	19
3.8.4. Zapojení mikrokontroléru regulátoru pásového dopravníku	20
3.9. Mikrokontrolér MC9S08AW32	21
3.9.1. Zapojení mikrokontroléru hlavní desky	22
4. Software	23
4.1. Měření vzdálenosti	23
4.2. Měření barvy RGB senzorem	25

4.2.1. Kalibrace senzoru barvy	26
4.3. Obsluha displeje s řadičem HD44780	27
4.4. Uživatelské rozhraní.....	28
4.5. Řízení modelářských servomotorů.....	29
4.6. Obsluha sběrnice I ² C	30
4.6.1. Komunikační protokol jednotky Servo7QG	31
4.6.2. Komunikační protokol senzoru vzdálenosti.....	32
4.6.3. Komunikační protokol regulátoru pásového dopravníku.....	32
4.7. Komunikační protokol RS232.....	33
4.8. Třídící algoritmus	35
4.8.1. Nakládání víček od PET lahví z pásového dopravníku.....	35
4.8.2. Rozpoznávání barev z dat RGB senzoru	36
4.9. Ovládací program pro OS Windows	38
5. Popis mechanické části.....	39
5.1. Robotické rameno PidiArm.....	39
5.2. Pásový dopravník	40
6. Závěr.....	41
Použitá literatura	42
Obsah přiloženého CD	44
Příloha A - Obrazová příloha	45

Seznam zkratek

PWM	- Pulse Width Modulation
I ² C	- Inter-Integrated Circuit
ACK	- Acknowledge
SCL	- Serial Clock Signal
SDA	- Serial Data Line
EEPROM	- Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
TTL	- Transistor-Transistor Logic
IR	- Infrared
BDM	- Background Debug Mode
RGB	- Red, Green, Blue
LED	- Light Emitting Diode
SMD	- Surface Mount Device
LCD	- Liquid Crystal Display
CISC	- Complex Instruction Set Computer
UART	- Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

Seznam tabulek

tab. 1. Seznam příkazů pro ovládání jednotky Servo7QG	31
tab. 2. Seznam příkazů pro ovládání senzoru vzdálenosti	32
tab. 3. Seznam příkazů pro ovládání hlavní desky.....	33
tab. 4. Popis dat odesílaných ovládání hlavní deskou.....	34

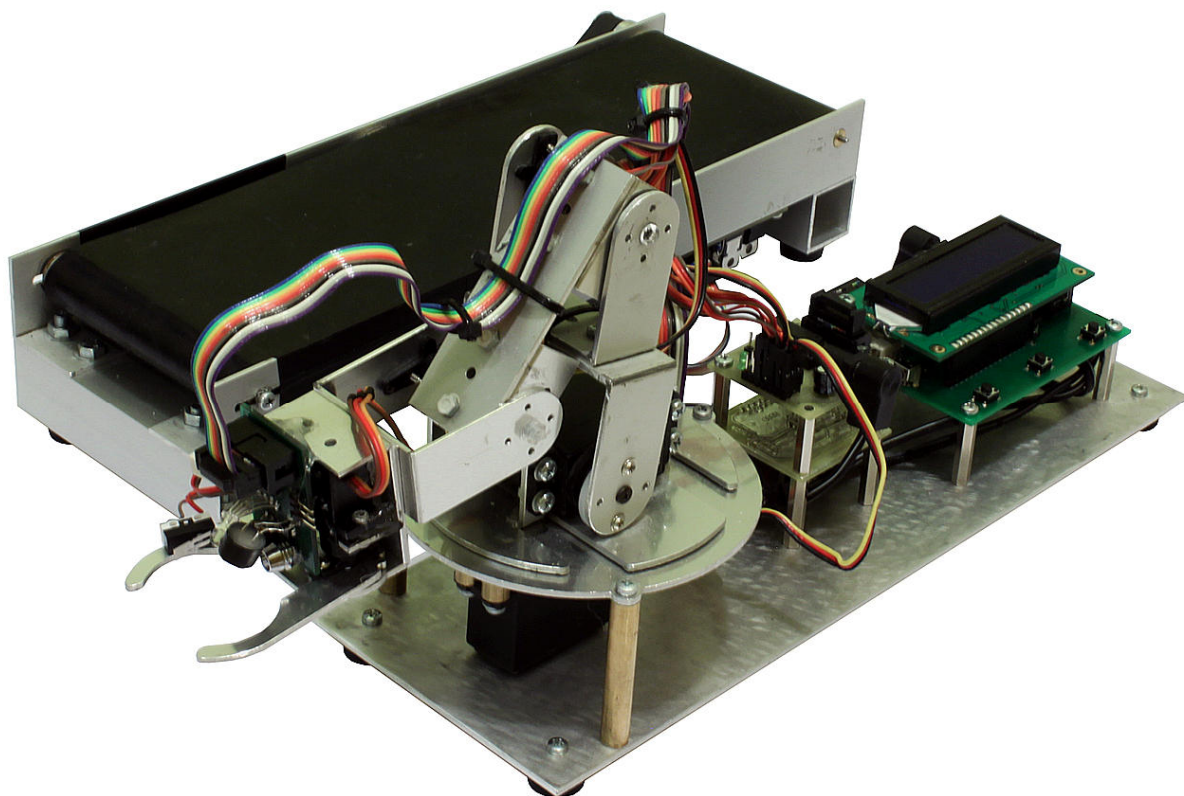
Seznam obrázků

obr. 1. Sestava robotického ramene PidiArm a pásového dopravníku.....	1
obr. 2. Blokové schéma elektroniky modelu třídící linky	2
obr. 3. Propojovací deska a jednotka Servo7QG.....	4
obr. 4. Hlavní deska.....	4
obr. 5. Deska senzorů	5
obr. 6. Regulátor pásového dopravníku.....	5
obr. 7. Průběh na vodičích sběrnice I ² C při přenosu dat	6
obr. 8. Zapojení I ² C konektoru „slave“ zařízení a) desky senzorů b) ostatních zařízení	7
obr. 9. Zapojení obvodu MAX232 na hlavní desce.....	8
obr. 10. Připojení napájecího napětí a jeho stabilizace na hlavní desce.....	9
obr. 11. Zapojení LCD displeje s řadičem HD44780	10
obr. 12. a) Zapojení součástek na desce senzorů b) Zapojení součástek na hlavní desce ...	11
obr. 13. Fotografie RGB LED a fotoodporu.....	12
obr. 14. Blokové zapojení obvodu TSOP34836 a závislost jeho citlivosti na frekvenci přijímaného signálu	13
obr. 15. Schéma zapojení přijímače a vysílače senzoru vzdálenosti na desce senzorů.....	13

obr. 16. Vyzařovací charakteristika IR LED TSUS4300	14
obr. 17. Fotografie IR přijímače TSOP34836 a IR LED.....	14
obr. 18. Schéma zapojení H-můstku a měření proudu	15
obr. 19. Vývody mikrokontroléru MC9S08QG8 pro pouzdro PDIP16 a TSSOP16.....	17
obr. 20. Zapojení mikrokontroléru na desce senzorů	18
obr. 21. Zapojení mikrokontroléru jednotky Servo7QG	19
obr. 22. Zapojení mikrokontroléru regulátoru pásového dopravníku.....	20
obr. 23. Vývody mikrokontroléru MC9S08AW32 v provedení LQFP44.....	21
obr. 24. Zapojení mikrokontroléru hlavní desky	22
obr. 25. Zapojení konektoru Hlavní desky	22
obr. 26. Statická převodní charakteristika senzoru vzdálenosti.....	23
obr. 27. Vývojový diagram popisující algoritmus měření vzdálenosti.....	24
obr. 28. Vývojový diagram popisující měření barvy.....	25
obr. 29. Vývojový diagram postupu kalibrace senzoru barvy	26
obr. 30. Vývojový diagram inicializační rutiny pro displej s řadičem HD44780	27
obr. 31. Struktura uživatelského rozhraní.....	28
obr. 32. Tři různé natočení modelářského servomotoru při třech různých délkách řídicího impulzu.....	29
obr. 33. Obsluha sběrnice I ² C mikrokontrolérem hlavní desky	30
obr. 34. Vzájemná poloha robotického ramene PidiArm a pásového dopravníku.....	35
obr. 35. Vývojový diagram zpracování dat z RGB senzoru.....	36
obr. 36. Porovnání naměřených barev s reálnými	37
obr. 37. Ovládací program pro OS Windows	38
obr. 38. Sestava robotického ramene PidiArm.....	39
obr. 39. Sestava pásového dopravníku	40

1. Úvod

Cílem této práce je realizace modelu linky na třídění víček od PET lahví, který je tvořen sestavou pásového dopravníku a robotického ramene PidiArm a demonstruje funkčnost všech vyvinutých elektronických součástí, zejména senzoru barvy a vzdálenosti.

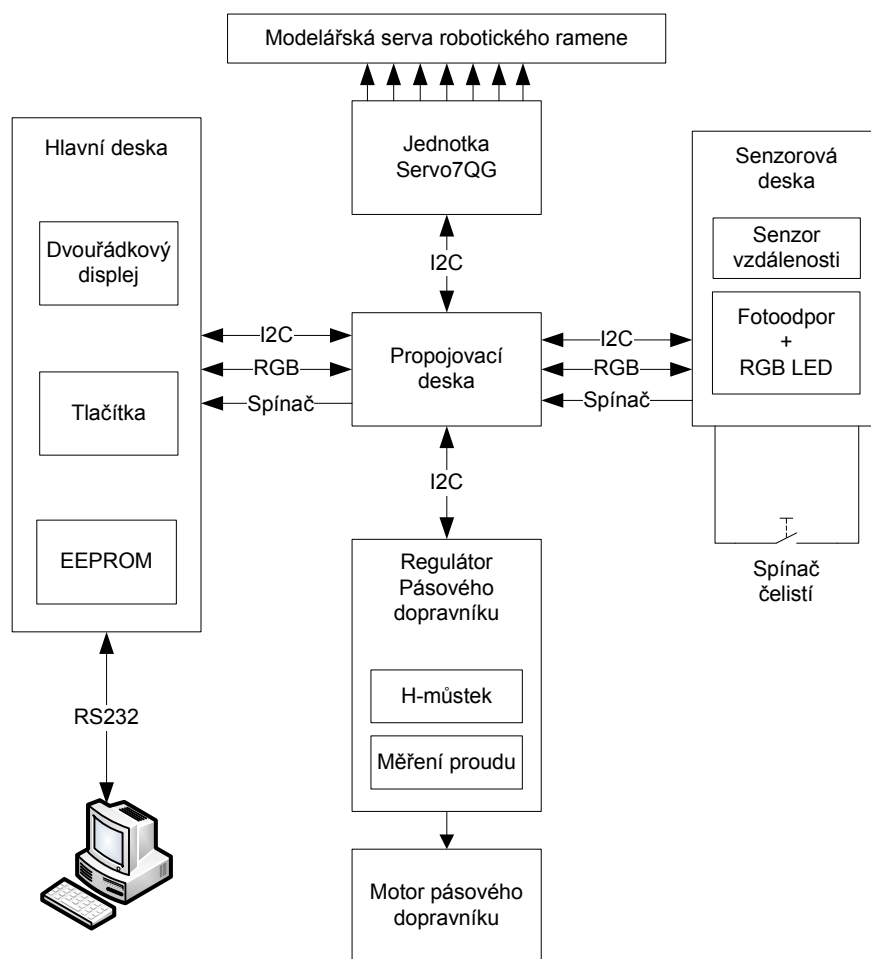


obr. 1. Sestava robotického ramene PidiArm a pásového dopravníku

Jak mechanické tak i elektronické díly jsou vlastní výroby a při jejich návrhu byl kladen důraz na modulárnost všech podsystémů. Hlavním úkolem je tedy realizovat řídicí a měřicí elektroniku schopnou spolehlivě komunikovat po standardizované komunikační sběrnici vhodné pro více zařízení. Návrh a vývoj všech těchto součástí a jejich softwarového vybavení bude detailně popsán v následujících kapitolách.

2. Rozbor zadání

Jako komunikační sběrnice byla zvolena sběrnice I²C. Obousměrná komunikace je realizována pouze dvěma vodiči a na jedné sběrnici je možné jedním „master“ zařízením obsluhovat až 127 zařízení „slave“. Detailněji bude popsána v další kapitole.



obr. 2. Blokové schéma elektroniky modelu třídící linky

Přes propojovací desku je připojena veškerá elektronika k hlavní desce. Hlavní deska realizuje samotné třídící algoritmy a zpracování dat ze senzorů, a proto je „master“ zařízením sběrnice I²C. Je také mostem mezi komunikačním rozhraním RS232 a ostatními zařízeními, která jsou ke sběrnici připojena. Uživatelské rozhranní zprostředkovává dvouřádkový znakový displej a tři tlačítka. Těmi je možné spouštět a ovládat všechny funkce modelu třídící linky. Pro ukládání kalibračních dat byla použita paměť EEPROM.

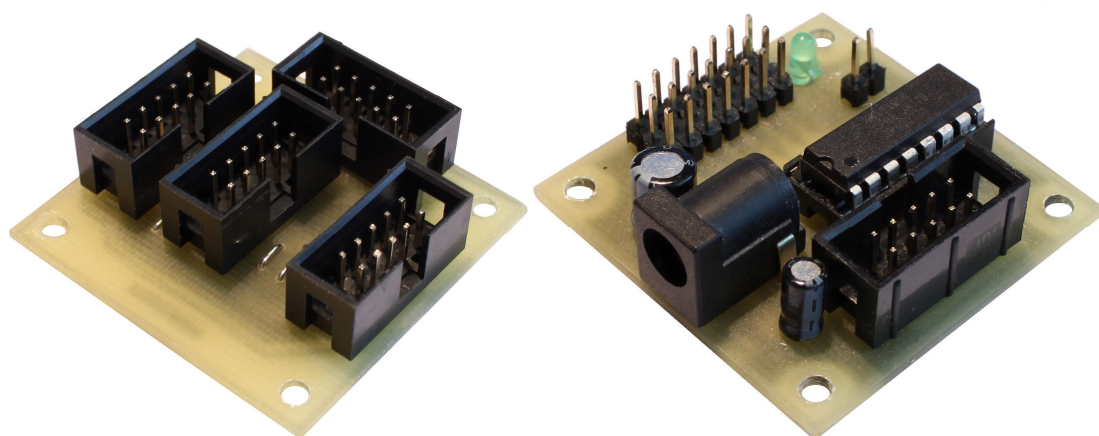
Na senzorové desce využívá sběrnici I²C jen senzor vzdálenosti. Pro obsluhu RGB snímače a čtení stavu spínače čelistí byl využit mikrokontrolér na hlavní desce a to pro možnost rychlejší reakce a menší zatížení sběrnice I²C.

Dále bylo třeba řídit modelářská serva robotického ramene. Úhel natočení modelářského serva odpovídá délce impulzů na řídicím vstupu serva a změny polohy probíhají maximální možnou rychlostí. Pro plynulý pohyb určitou rychlostí menší než je rychlost maximální je tedy nutné měnit délku řídicího impulsu plynule. To je s běžně dostupnými řídicími obvody možné realizovat tím, že řídicímu obvodu není odesláno ihned cílové natočení serva, ale postupně se odesílají další a další hodnoty natočení než je plynule dosaženo cílového polohy. K tomu je však potřeba komunikace, která je náročná na rychlost a objem přenesených dat. Jednotka Servo7QG však tento problém řeší tak, že stačí zadat jen požadované cílové natočení serva a rychlost jakou má být přejezd do cílového úhlu proveden. V průběhu přejezdu je také možné se jednotky dotazovat na aktuální úhel natočení.

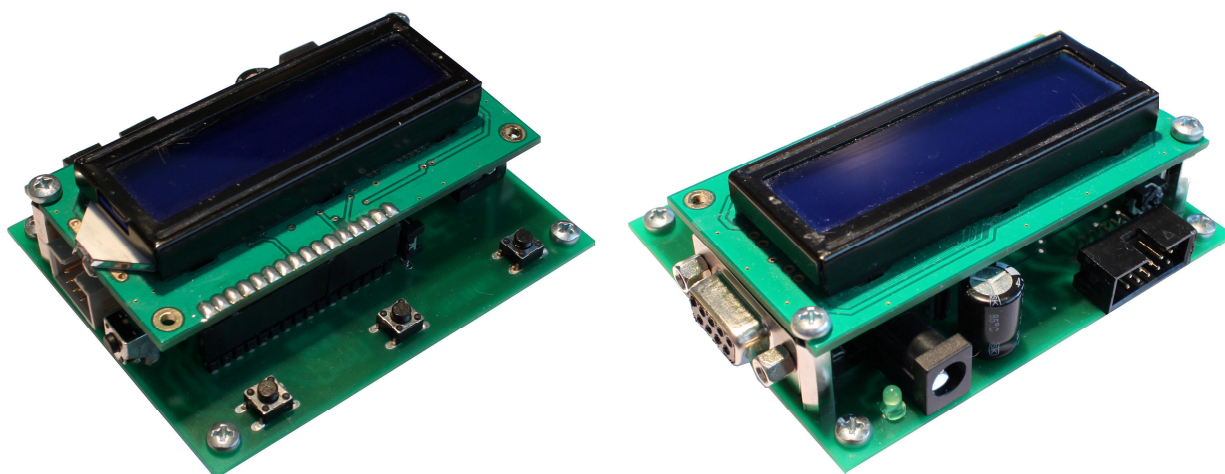
Pro potřeby regulace motoru pásového dopravníku byla použita PWM a to s rozlišením na 127 kroků. Možnost reverzace otáček motoru je realizována H-můstkem. Pro zamezení poškození dopravníku nebo motoru, je elektronika pásového dopravníku opatřena měřením proudu protékající motorem.

3. Hardware

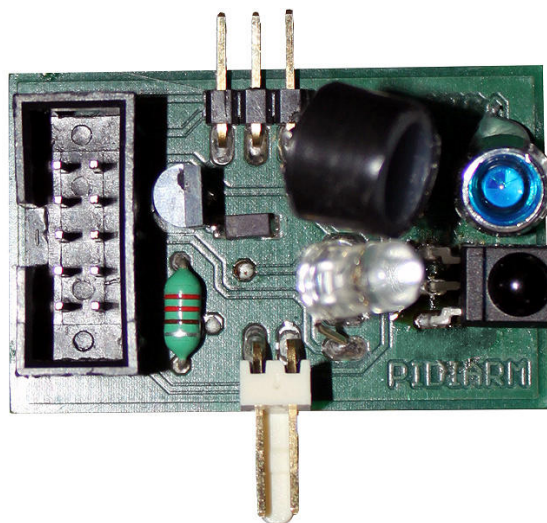
V této kapitole jsou stručně popsány použité mikrokontroléry, integrované obvody a další hardwarové celky tak, aby se bylo možné v další kapitole zabývat popisem softwaru, který tyto hardwarové celky obsluhuje. Kompletní schémata, výkresy plošných spojů a osazovací výkresy jsou obsaženy v obrazové příloze této práce.



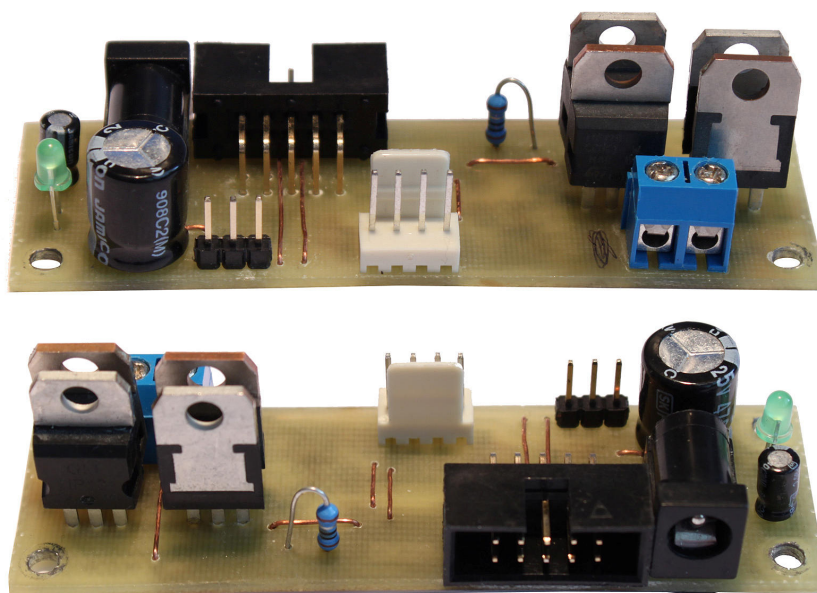
obr. 3. Propojovací deska a jednotka Servo7QG



obr. 4. Hlavní deska



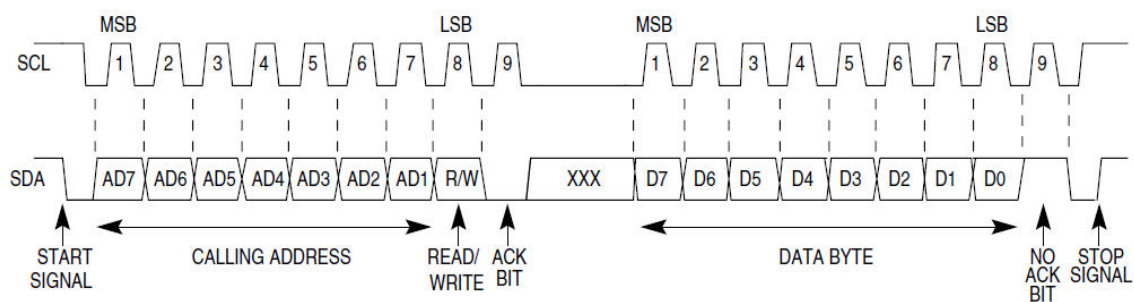
obr. 5. Deska senzorů



obr. 6. Regulátor pásového dopravníku

3.1. Sběrnice I²C

Internal-Integrated-Circuit bus neboli sběrnice I²C byla vyvinuta firmou Philips pro komunikaci mezi několika integrovanými obvody v rámci jednoho zařízení. Hardwarovou podporou této sběrnice disponuje již většina mikrokontrolérů. Dále je například hojně využívána paměťmi EEPROM, vstupně-výstupní obvody, AD a DA převodníky apod.



obr. 7. Průběh na vodičích sběrnice I²C při přenosu dat

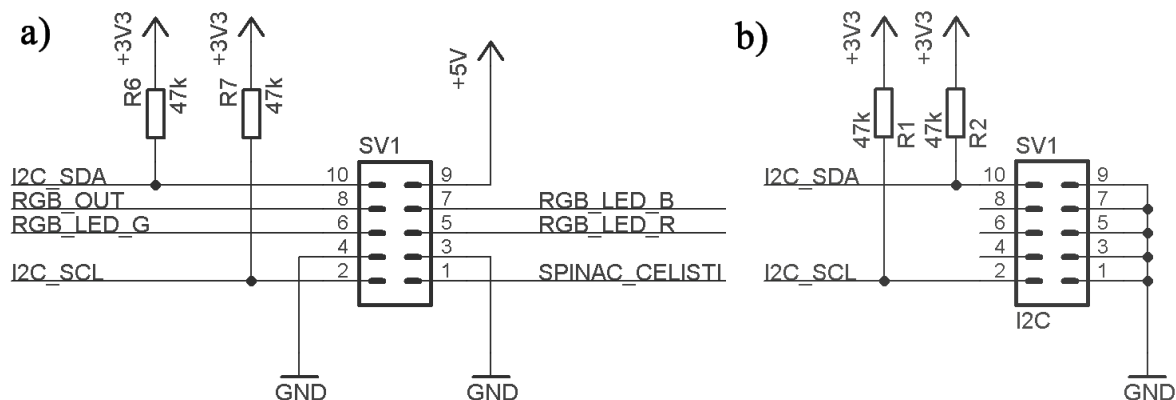
Principiálně jde o sériové synchronní komunikační rozhraní, kde SDA je datový vodič a SCL je vodič pro hodinový signál. Pro všechna zařízení připojená na tuto sběrnici jsou tyto vodiče společné, jen o řízení komunikace se stará pouze „master“ zařízení. Základní rychlost hodinového signálu, kterou by měla I²C zařízení být schopna komunikovat, je 100kHz, proto tuto komunikační rychlost používá i elektronika modelu třídící linky.

V klidovém stavu je na vodičích log. 1, kterou zajišťují „pull-up“ rezistory. Komunikace začíná při spádové hraně na SDA pinu. Dále následuje odeslání sedmi bitů adresy cílového „slave“ zařízení a RW bit, který určuje, zda bude „slave“ zařízení přijímat (log. 1) nebo vysílat (log. 0). Platný stav bitů je při log. 1 na SCL vodiči, tedy změny logických úrovní na datovém vodiči jsou při přenosu dat dovoleny, jen pokud je na SCL log. 0. Po přenosu těchto bitů čeká „master“ zařízení na ACK bit, kterým potvrzuje „slave“ zařízení, že bylo naadresováno a že je připraveno přijímat nebo vysílat datové bity. Pokud je ACK bit v log. 1, znamená to, že žádné zařízení požadovanou adresu nemá a přenos je ukončen stop bitem, tedy přepnutím SDA i SCL do log. 1. Při úspěšném naadresování komunikace pokračuje po bajtech až do doby, než je ACK bit přepnut přijímačem do log. 1.

3.1.1. Použitá zapojení sběrnice I²C

Na hlavní desce je také umístěna EEPROM paměť určená pro ukládání kalibračních dat a seznamu barev, které mají být vyhodnoceny jako správné. Ke sběrnici I²C je připojena dle zapojení uvedeném v katalogovém listu [5].

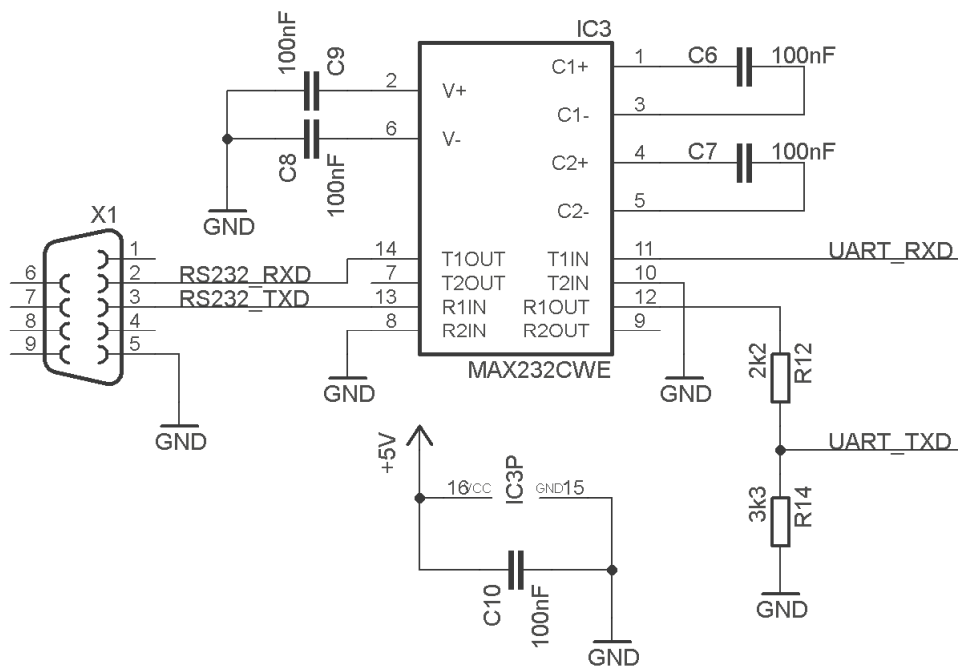
Zapojení vodičů I²C sběrnice je pro všechny „slave“ zařízení shodné, hned za konektorem následují „pull-up“ rezistory. Odlišnost je jen u desky senzorů, u které jsou vyvedeny z tohoto konektoru i jiné vodiče než pro I²C. Konkrétně napájecí vodič a vodiče pro RGB snímač a spínač čelisti.



obr. 8. Zapojení I²C konektoru „slave“ zařízení a) desky senzorů b) ostatních zařízení

3.2. Komunikační rozhraní RS232

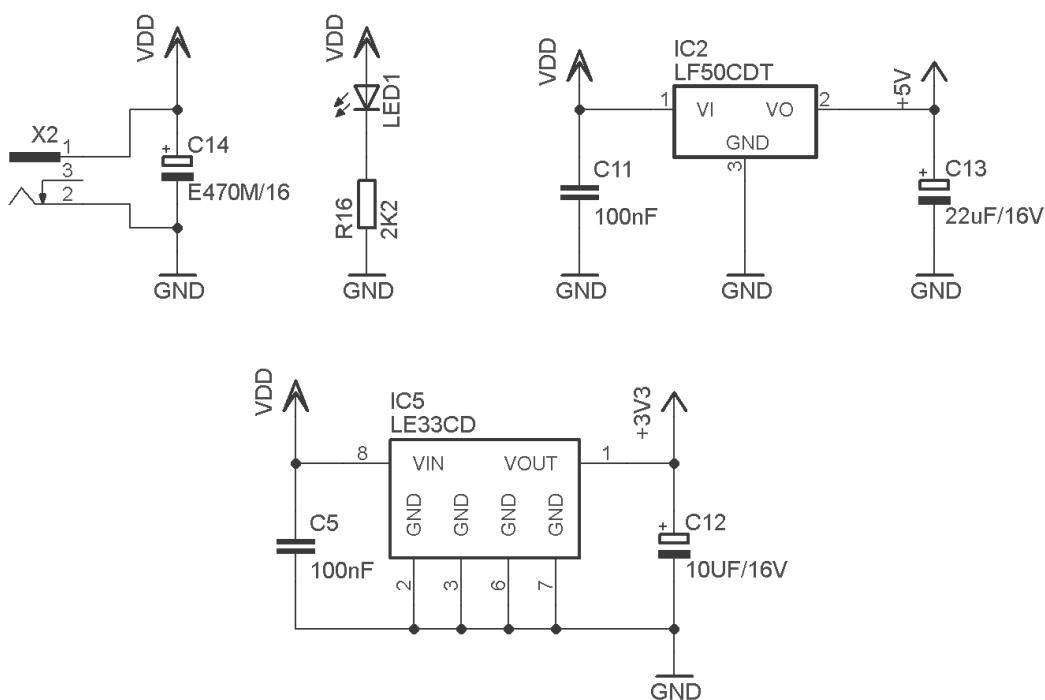
Pro komunikaci s PC bylo zvoleno asynchronní komunikační rozhraní RS232. Napěťové úrovně tohoto rozhraní jsou +5V až +15V pro log. 0 a -5V až -15V pro log. 1. Pro připojení k mikrokontroléru je tedy třeba použít převodník úrovní MAX232 [10], ale jelikož pracuje s úrovněmi TTL a napájecí napětí mikrokontroléru hlavní desky je +3,3V, musel být na výstupu převodníku použit dělič napětí.



obr. 9. Zapojení obvodu MAX232 na hlavní desce

3.3. Napájecí obvody

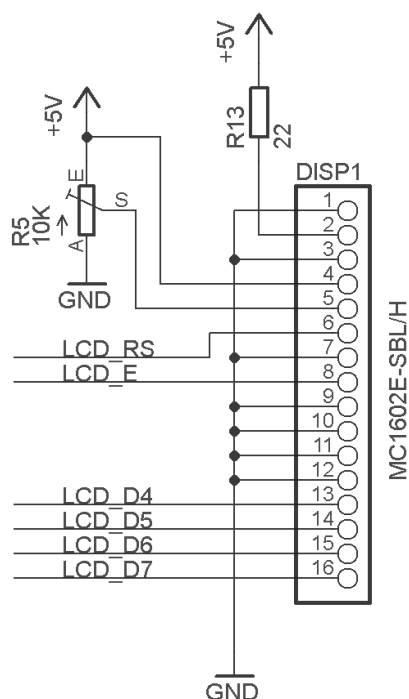
Modelářské servomotory je možné napájet napětím 4,8 až 7,2V avšak jejich chod je nejplynulejší při napájecím napětí nižším než 6V. To znamenalo nutnost použít na hlavní desce stabilizátory „lowdrop“, které jsou schopné stabilizovat napětí, i když je vstupní napětí větší o méně než 1V. Mezi takové obvody patří stabilizátory řady LFxx vyráběné společností STMicroelectronics. Ty potřebují pro dostatečně kvalitní stabilizaci o 0,3V na vstupu více než je hodnota žádaného výstupního napětí. Pro hlavní desku byl použit obvod LE50CDT v pouzdru DPAK, který poskytuje napětí +5V pro napájení převodníku MAX232 a dvouřádkového znakového displeje. Stabilizátor LE33CD v pouzdru SO08 napájí napětím +3,3V ostatní elektroniku. Jednotka Servo7QG a regulátor pásového dopravníku používá jen stabilizátor LE33CD a Deska senzorů používá obvod LE33CZ což je ekvivalent obvodu LE33CD v pouzdře TO92.



obr. 10. Připojení napájecího napětí a jeho stabilizace na hlavní desce

3.4. Displej s řadičem HD44780

Jako zobrazovací zařízení pro realizaci uživatelského rozhraní byl použit dvouřádkový displej MC1602E-SBL/H s řadičem HD44780. Tento řadič je používán až pro čtyřřádkové displeje a komunikuje po paralelní sběrnici a to buď v osmibitovém, nebo ve čtyřbitovém režimu. Z důvodu nedostatku volných pinů mikrokontroléru hlavní desky byl použit čtyřbitový režim. Komunikace a zobrazování textu bude popsáno ve 4. kapitole.

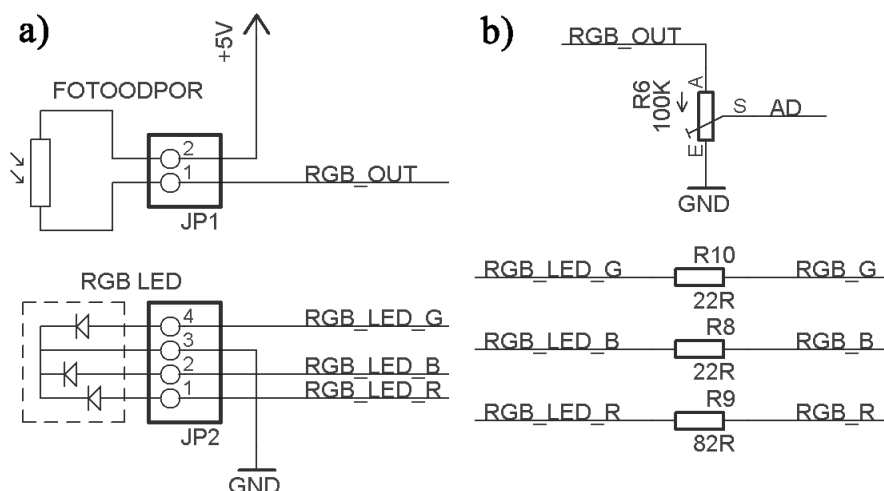


obr. 11. Zapojení LCD displeje s řadičem HD44780

Odpor R13 slouží pro omezení proudu diodou podsvětlení a trimr R5 pro nastavení kontrastu LCD displeje. Piny 13 až 16 jsou určeny pro čtyřbitový přenos. Piny 9 až 10 jsou použity jako horní čtyři datové bity jen při osmibitovém režimu, takže je bylo třeba připojit na zem. Stejně tak byl na zem připojen i pin 7, který rozhoduje o tom, zda bude z paměti displeje čteno, nebo zda se do ní bude zapisovat. Čtení z paměti displeje tedy není používáno. Pin 6 rozhoduje o tom, zda je příchozí bajt datový, nebo zda slouží ke konfiguraci funkcí displeje. Pin 8 slouží pro potvrzení toho, že již byla odeslána platná data. Zbylé piny slouží pro napájení displeje a již zmíněné nastavení kontrastu.

3.5. Měření barvy

Princip měření barvy dle barevného modelu RGB spočívá ve změření intenzity světelného záření, které se odrazí od měřeného povrchu, pokud je na tento povrch svíceno každou z barevných složek soustavy RGB zvlášť.

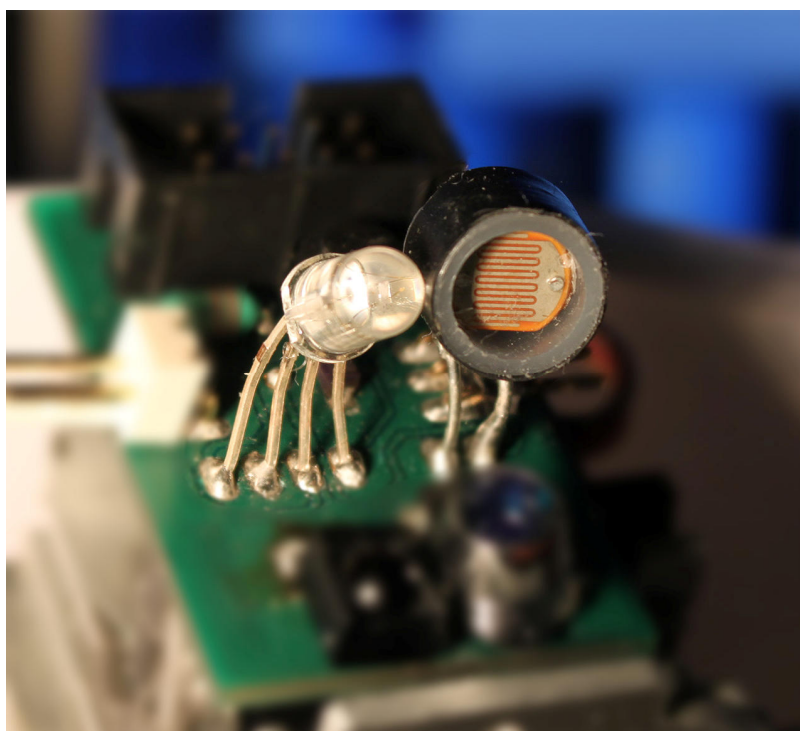


obr. 12. a) Zapojení součástek na desce senzorů b) Zapojení součástek na hlavní desce

Na obr. 12. je schéma celého velmi jednoduchého RGB snímače. O kvalitě snímače rozhoduje zejména software a kvalita kalibrace senzoru. Vývody RGB_OUT a RGB_LED jsou propojené přes propojovací desku. Vodič AD je připojen k aproximačnímu převodníku mikrokontroleru na hlavní desce a vodiče RGB na jeho výstupy.

Použita byla RGB LED o velikosti 5mm se společnou katodou. Jednotlivé čipy vyzařují barvy o vlnových délkách 635/525/470nm o svítivosti 4600mcd v úhlu 45°. Prahová napětí čipů jsou 2,1/3,3/3,3V. Z důvodu rozdílných prahových napětí mají rezistory R8 až R10 různé hodnoty.

Pro měření intenzity odraženého světelného záření byl použit fotoodpor VT83N1. Jeho odpor je při „úplné tmě“ 100k Ω a při osvětlení 10lux přibližně 12k Ω . Pro zlepšení odolnosti proti rušivému okolnímu osvětlení byl tento fotoodpor usazen do začerněné objímky určené pro LED o velikosti 8mm. Spolu s odporovým trimrem R6 tvoří napěťový dělič jehož napětí je závislé na intenzitě světelného záření, které se odráží od měřeného předmětu. Změnou velikosti odporu R6 se také provádí kalibrace měřením odrazu od bílého předmětu. Tedy přesněji nastavení maximální hodnoty napětí, které bude přivedeno na vstup AD převodníku.

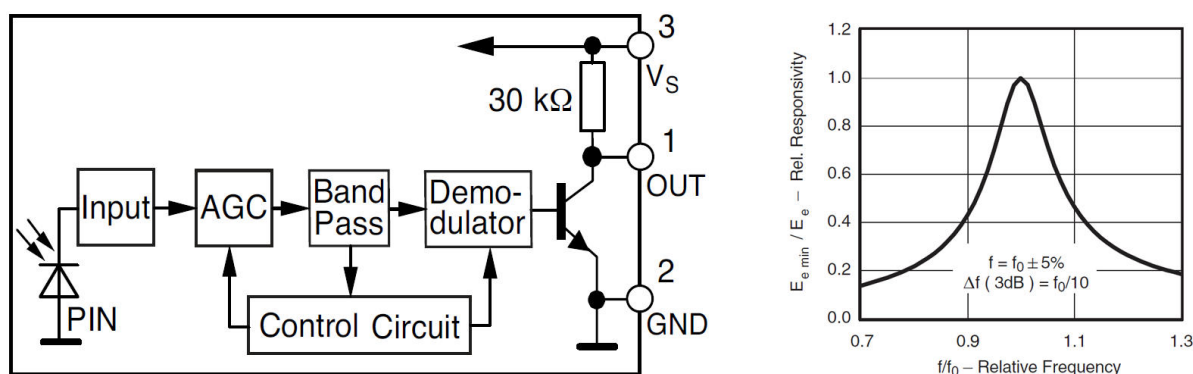


obr. 13. Fotografie RGB LED a fotoodporu

3.6. Měření vzdálenosti

Rozsah optického senzoru vzdálenosti by měl být alespoň 1 až 10 cm, tak aby bylo možné detekovat víčka od PET lahví v celé šířce pásového dopravníku. Zároveň je třeba, aby takovýto optický systém byl co nejvíce odolný proti okolnímu rušivému záření. Z těchto důvodů byly použity součástky pracující v infračervené oblasti světelného záření. Nejčastěji se k těmto účelům využívají zařízení pracující s vlnovou délkou zhruba 950nm.

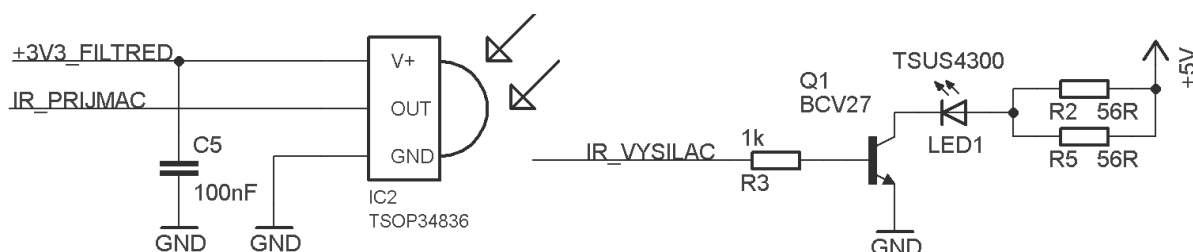
3.6.1. Obvod TSOP34836 a IR LED



obr. 14. Blokové zapojení obvodu TSOP34836 a závislost jeho citlivosti na frekvenci přijímaného signálu

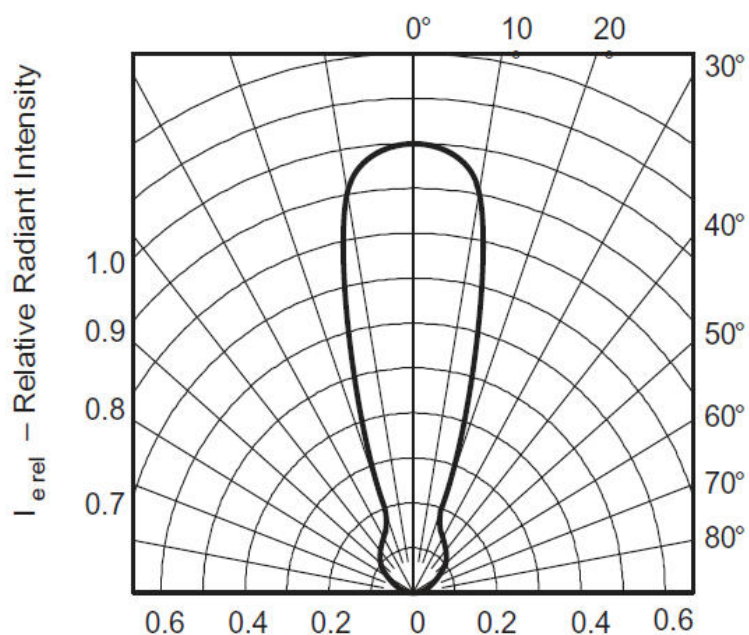
Obvod TSOP34836, použitý jako přijímač senzoru vzdálenosti, v sobě zahrnuje přijímací PIN diodu, předzesilovač, pásmovou propust naladěnou na frekvenci 36kHz a demodulátor. Nejčastěji se používá jako přijímač pro dálkové ovladače, které kódují své příkazy pomocí PWM, tedy délkou impulsu, který se opakuje s periodou 36kHz.

Pro samotné měření vzdálenosti je využito závislosti citlivosti přijímače na frekvenci impulsů přijímaného signálu a to tak, že vysílací frekvence IR LED je cyklicky měněna. Nevýhoda této metody spočívá v nelinearitě této závislosti. Je však možné ji programově kompenzovat. Podrobněji bude princip toho měření popsán v kapitole 4.

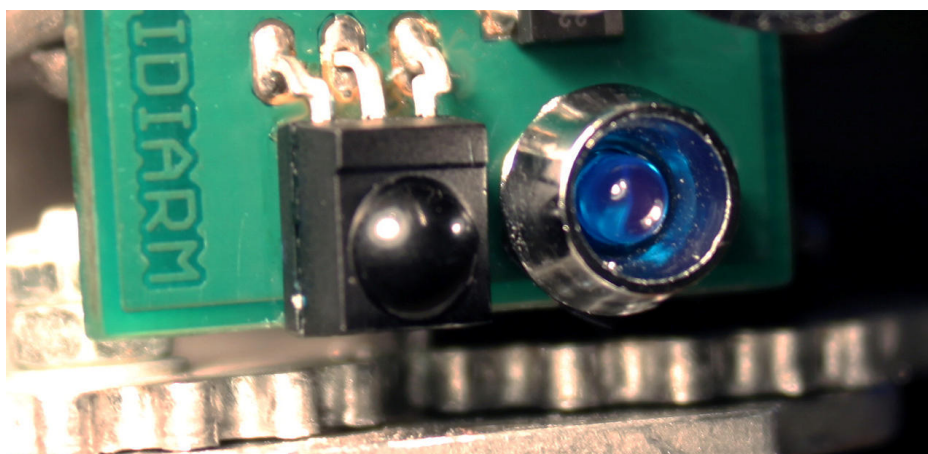


obr. 15. Schéma zapojení přijímače a vysílače senzoru vzdálenosti na desce senzorů

Jako vysílač IR záření bylo třeba použít dostatečně malou a výkonnou LED. Použita byla TSUS4300 [4], z důvodu její relativně úzké směrové vyzařovací charakteristiky a možnosti impulzního buzení proudem až 2A. Kvůli velkému proudovému zatížení musel být použit pro buzení této LED darlingtonův tranzistor BCV27 a předřadný odpor složený ze dvou rezistorů.



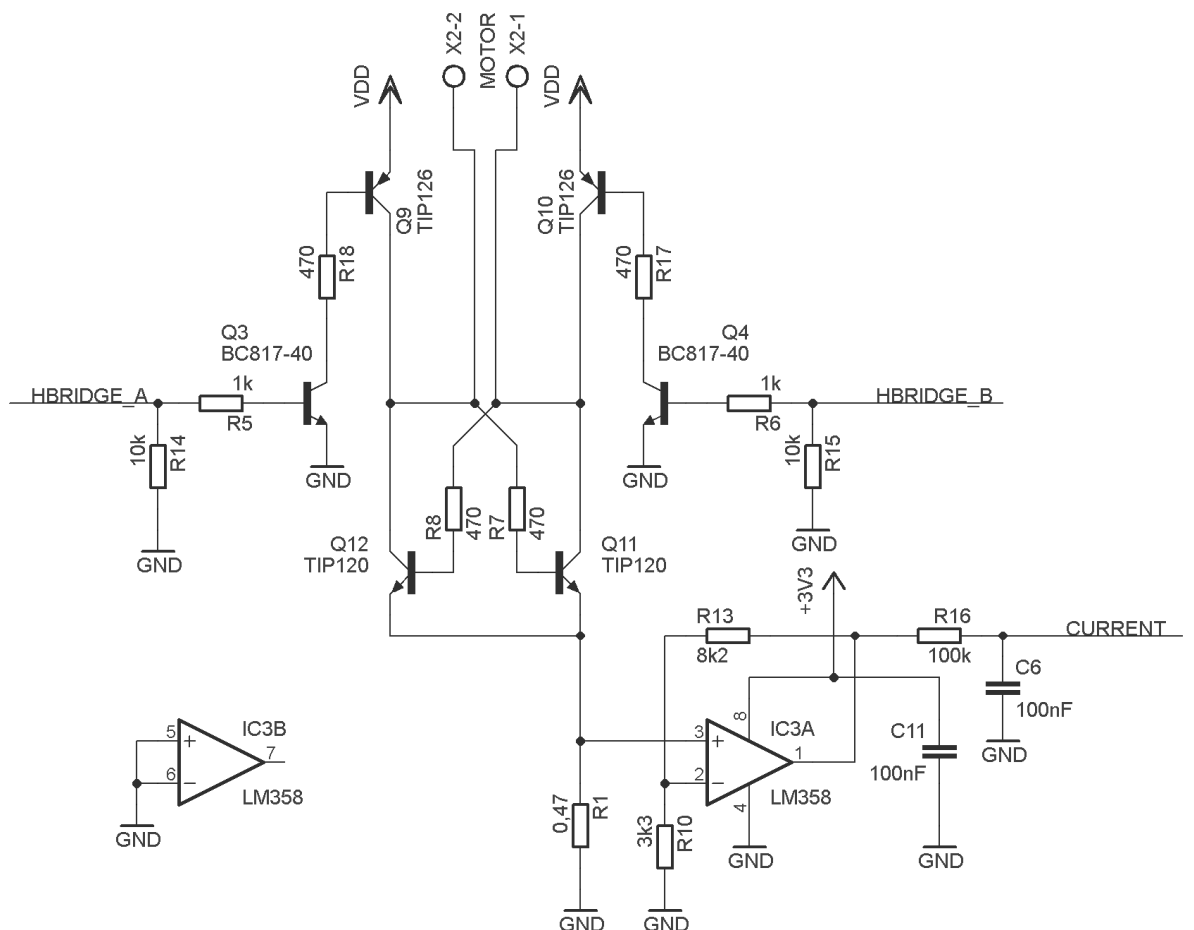
obr. 16. Vyzařovací charakteristika IR LED TSUS4300



obr. 17. Fotografie IR přijímače TSOP34836 a IR LED

3.7. H-můstek a měření proudu

H-můstek byl konstruován jako bipolární a to z důvodu menší velikost a jednoduššího řízení. H-můstek s tranzistory MOSFET totiž potřebuje pro kvalitní chod budiče, které by na plošném spoji regulátoru pásového dopravníku zabíraly příliš místa.



obr. 18. Schéma zapojení H-můstku a měření proudu

Darlingtonovy tranzistory Q9 a Q10 jsou otevírány proudem z tranzistoru Q3 a Q4. Nemohou být totiž otevírány přímo mikrokontrolérem. Při otevření tranzistoru Q9 resp. Q10 dojde i k otevření Q11 resp. Q12. a tím může být přivedeno napětí o žádané polaritě k motoru připojenému ke konektoru X2. Tento způsob otevírání spodních tranzistoru Q11 a Q12 umožňuje ušetřit dva piny mikrokontroléru a další místo na plošném spoji, které by si vyžádaly další tranzistory pro jejich otevírání. Tranzistory Q9 až Q12 mají ve svém pouzdru zabudovanu ochrannou diodu, která ve schématu zakreslena není. Viz. [11]

Proud H-můstku je měřen jako úbytek napětí na odporu $R_1 = 0,47\Omega$. Předpokládaný maximální odběr motoru je $I_{\max} = 1A$. To znamená, že úbytek na tomto odporu je třeba zesílit. Použit byl operační zesilovač LM358 v neinvertujícím zapojení, jenž je schopný spolehlivě pracovat, i když je jeho záporný napájecí vstup připojen na zem. Nakonec je výstup filtrován RC článkem tvořeným rezistorem R_{16} a kondenzátorem C_6 . Zesílení zesilovače bylo určeno tak, aby hodnota na vstupu AD převodníku mikrokontroléru, který je připojen na vodič CURRENT, byla úměrná polovině maximálního rozsahu, tedy napětí $U_{\max} = 1,65V$. Polovina maximálního napětí byla zvolena z důvodu saturačního napětí operačního zesilovače $U_{\text{sat}} = U_{\text{cc}} - 1,5V = 1,8V$.

Pro tento rozsah je tedy potřeba vypočítat zesílení neinvertujícího zesilovače, které určují rezistory R_{10} a R_{13} . Jejich hodnota byla zvolena a vypočtena tak, aby byla běžně dostupná a aby nebylo třeba požadovanou hodnotu skládat z více rezistorů.

$$A = \frac{U_{\text{MAX}}}{I_{\text{max}} \cdot R_1} = \frac{1,65}{0,47} \cong 3,5$$

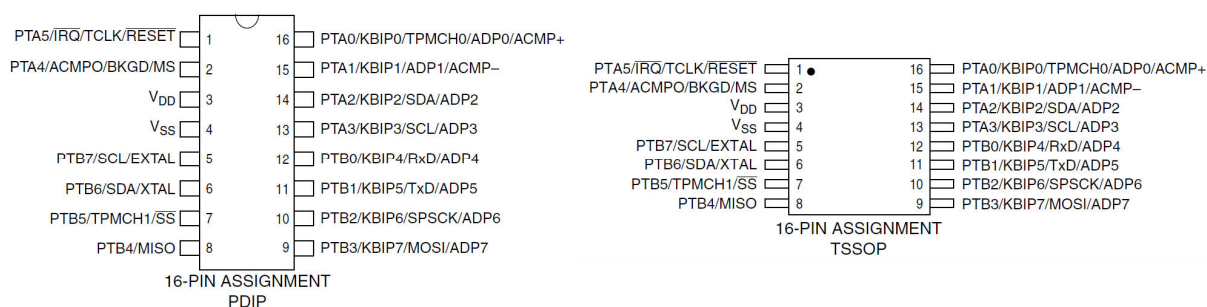
$$A = 1 + \frac{R_{10}}{R_{13}}$$

$$\text{Zvolen byl } R_{13} = 3,3k\Omega, R_{10} = 2,5 \cdot R_{13} \cong 8,2k\Omega$$

3.8. Použité mikrokontroléry

Jako hlavní řídicí obvody byly vybrány mikrokontroléry vyráběné společností Freescale semiconductors. Disponují všemi potřebnými perifériemi a navíc také programovacím a ladícím rozhraním BDM [1]. V elektronice modelu třídící linky jsou použity mikrokontroléry MC9S08QG8 a MC9S08AW32. Oba typy disponují stejným jádrem HCS08, které používá instrukční sadu typu CISC zpětně kompatibilní s instrukční sadou mikroprocesoru Motorola 6800. Jako zdroj taktu je možné použít externí krystal nebo interní zdroj taktu a jejich kmitočty dále násobit pomocí konfigurovatelné násobičky.

3.8.1. Mikrokontrolér MC9S08QG8

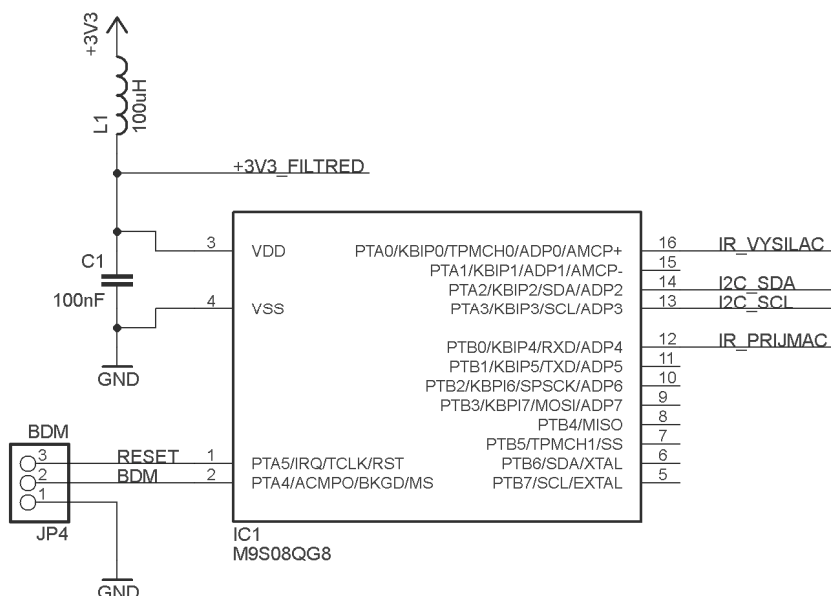


obr. 19. Vývody mikrokontroléru MC9S08QG8 pro pouzdro PDIP16 a TSSOP16

Tento mikrokontrolér patří z hlediska počtu pinů a periférií mezi nejmenší z rodiny HCS08. Disponuje operační pamětí o velikosti 512B a pamětí typu Flash pro program o velikosti 8kB. Napájecí napětí se může pohybovat v rozmezí 1,8 až 3,3V.

Pro elektroniku modelu třídící linky byly využity jen některé periférie. Všechny použité mikrokontroléry využívají 16bitový čítač s dvěma konfigurovatelnými komparátory použitelnými pro PWM, vyvolávání přerušení nebo pro vstupní komparaci. PWM kanály využívá regulátor pásového dopravníku a vyvolávání přerušení jednotka Servo7QG7. Vstupní komparace využita není. Dále je možné tento čítač použít jako časovač, který při přetečení nastavené hodnoty vyvolá přerušení. Toho je využito u jednotky Servo7QG a senzoru vzdálenosti. Dále je možné využít další 8bitový časovač. Ten je použit jen u senzoru vzdálenosti pro cyklické přepínání citlivosti senzoru. Pro komunikaci po sběrnici I²C je použita hardwarová jednotka, která dokáže pracovat jak v „master“, tak i ve „slave“ režimu.

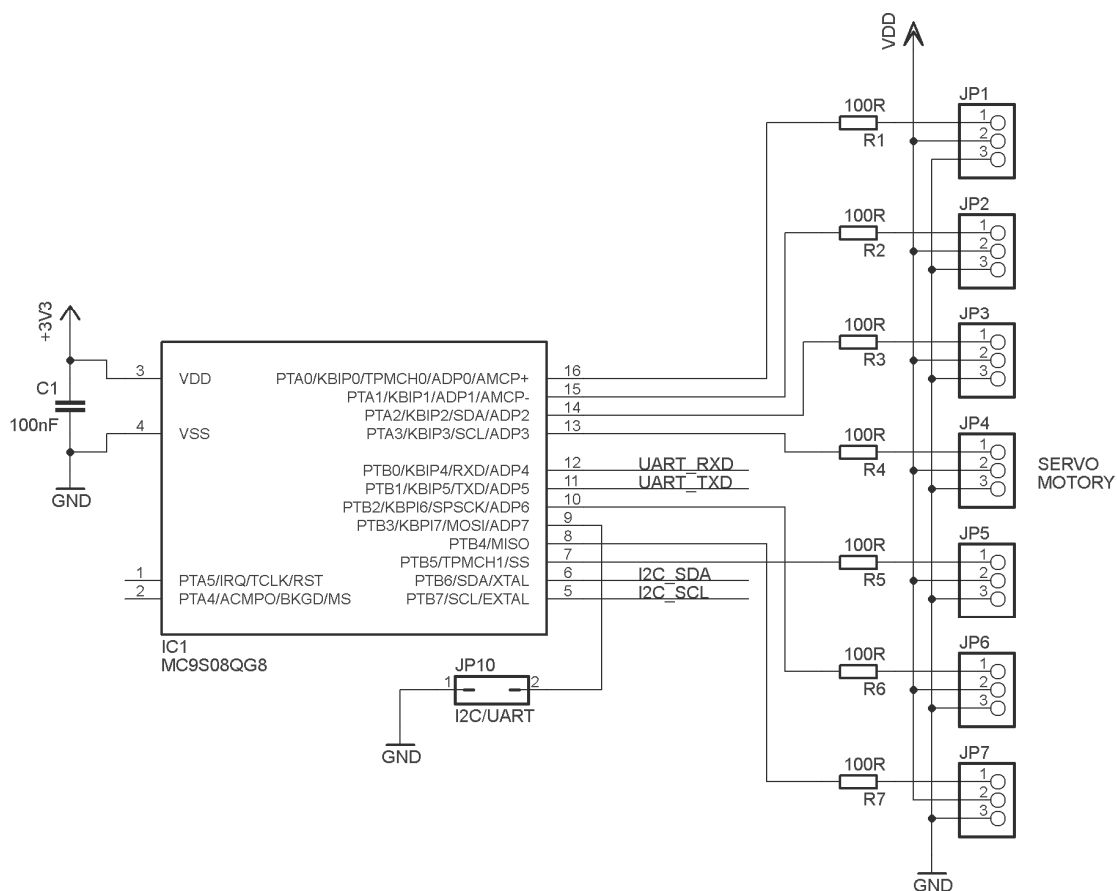
3.8.2. Zapojení mikrokontroléru na desce senzorů



obr. 20. Zapojení mikrokontroléru na desce senzorů

Mikrokontrolér v SMD pouzdrů TSSOP16 je na desce senzorů použit jen pro měření vzdálenosti. Napájen je stabilizovaným napětím 3,3V, které je přivedeno přes tlumivku L1 a společně s kondenzátorem C1 filtruje rušení, které by mohly způsobovat modelářská serva, nacházející se v těsné blízkosti tohoto obvodu. Vodiče programovacího rozhraní, BDM a RESET, byly vyvedeny na konektor JP4, vodiče sběrnice I²C zapojeny dle obr. 8a, pin PTA0 nastaven jako výstup pro IR LED a pin PTB0 nastaven jako vstup pro IR přijímač. Pro taktování byl použit interní zdroj taktu nastavený na frekvenci 39.0625kHz a násobený násobičkou na maximální možnou frekvenci 20MHz.

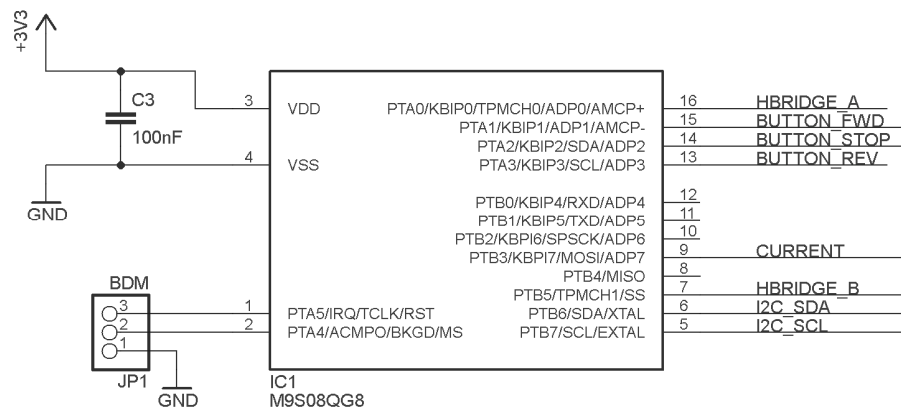
3.8.3. Zapojení mikrokontroléru jednotky Servo7QG



obr. 21. Zapojení mikrokontroléru jednotky Servo7QG

Jednotka Servo7QG používá mikrokontrolér MC9S08QG8 v pouzdru PDIP16. Nebylo tedy potřeba osazovat konektor pro programovací rozhraní BDM. Pro taktování byl použit interní zdroj taktu nastavený na frekvenci 32kHz a násobený násobičkou na frekvenci 16.384MHz tak, aby mohl být 16bitový čítač plně využit pro řízení modelářských servomotorů. Kromě komunikace po sběrnici I²C je možné změnou nastavení jumperu JP10 komunikovat po rozhraní UART. Pro ovládání modelářských servomotorů byly použity všechny ostatní volné piny nastavitelné jako výstup (Piny PTA4 a PTA5 mohou sloužit jenom jako vstup, proto nejsou využity). Jako jednoduchá ochrana před zkratem výstupu mikrokontroléru slouží 100Ω rezistory.

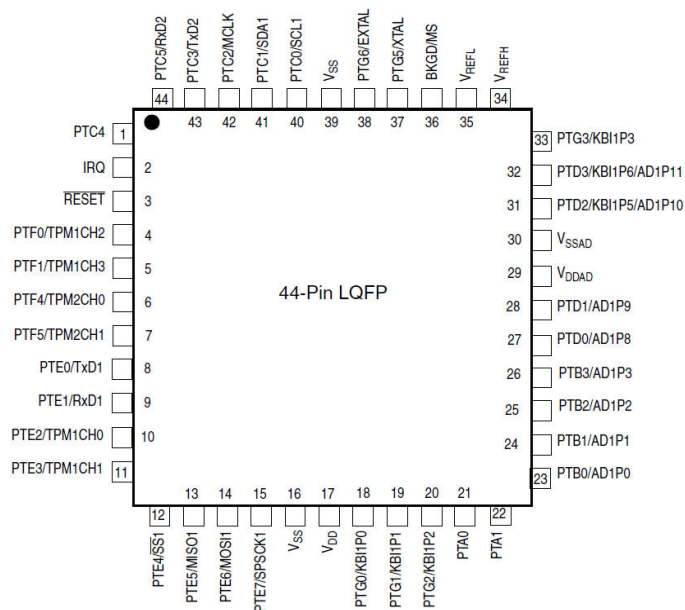
3.8.4. Zapojení mikrokontroléru regulátoru pásového dopravníku



obr. 22. Zapojení mikrokontroléru regulátoru pásového dopravníku

Při návrhu regulátoru pásového dopravníku byl kladen důraz na velikost plošného spoje, a proto byl opět použit mikrokontrolér v pouzdře TSSOP16. Piny PTA0 a PTB5 jsou využívány 16bitovým časovačem jako PWM výstupy pro ovládání H-můstku. Frekvence PWM byla z důvodu použití bipolárních tranzistorů snížena na 500Hz. Pin PTB5 je využíván interním aproximačním AD převodníkem vzorkujícím frekvencí 25kHz. Piny PTA1 až PTA3 mohou být využívány pro manuální ovládání pásového dopravníku tlačítka. Pro taktování byl použit interní zdroj taktu nastavený na frekvenci 32.768kHz a násobený násobičkou na frekvenci 8.3886MHz. Sběrnice I²C je připojena dle obr. 8b.

3.9. Mikrokontrolér MC9S08AW32

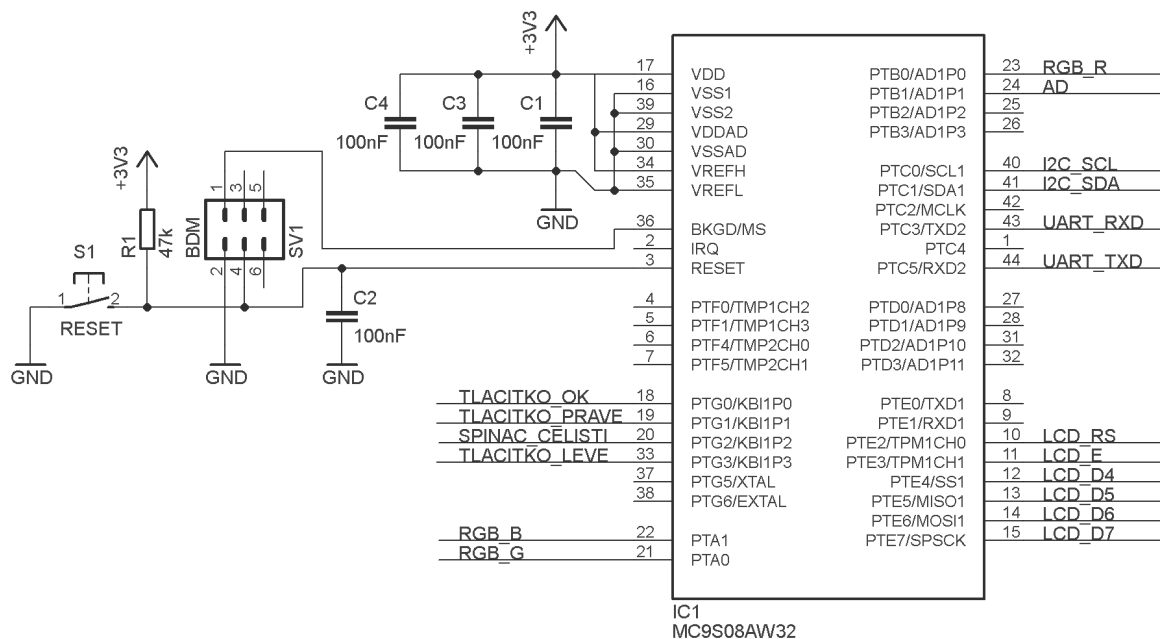


obr. 23. Vývody mikrokontroléru MC9S08AW32 v provedení LQFP44

Pro hlavní desku bylo třeba použít mikrokontrolér s dostatečným počtem vstupů a výstupů a dostatečně velkým paměťovým prostorem. Proto byl použit mikrokontrolér MC9S08AW32 v SMD pouzdru LQFP44. Velikost operační paměti je 2kB a velikost paměti typu Flash určené pro program je 32kB.

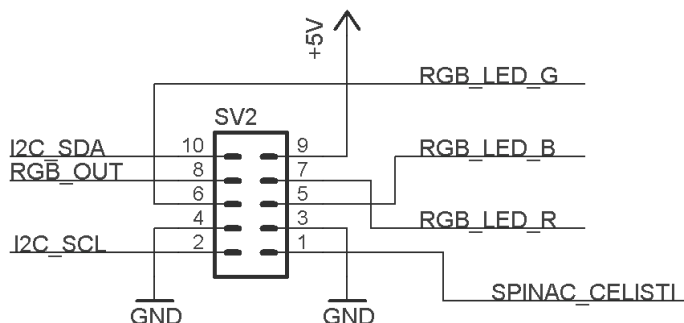
Využívány jsou oba 16bitové časovače. První časovač je použit pro pravidelné odesílání hodnot natočení serv při manuálním ovládání přes RS232 a také pro pravidelné čtení hodnot ze „slave“ zařízení připojených ke sběrnici I²C. Druhý časovač se stará o vzorkování hodnot naměřených AD převodníkem a o pravidelné přepínání barev RGB senzoru. Dále je využit jeden z UART modulů, jehož komunikační rychlost je nastavena na 115,2kbaud. Další podrobné informace o mikrokontrolérech z rodiny MC9S08AW je možné vyhledat v datasheetu [2].

3.9.1. Zapojení mikrokontroléru hlavní desky



obr. 24. Zapojení mikrokontroléru hlavní desky

Programovací vodiče mikrokontroléru byly vyvedeny standardním způsobem, tedy pomocí 6 pinového konektoru. Zároveň bylo i osazeno resetovací tlačítko. Piny PTG0 až PTG3 slouží jako vstupy pro mechanické spínače. Piny PTA0, PTA1 a PTB0 jsou nastaveny jako výstupy, které budí RGB LED umístěnou na desce senzorů. Pin PTB1 byl využit AD převodníkem pro snímání napětí z napětového děliče dle obr. 12b. Portem PTE je ovládán dvouřádkový znakový displej. Pro taktování byl použit interní zdroj taktu nastavený na frekvenci 243kHz a násobený násobičkou na maximální možnou frekvenci 40MHz. Sběrnice I²C je připojena dle obr. 25.



obr. 25. Zapojení konektoru Hlavní desky

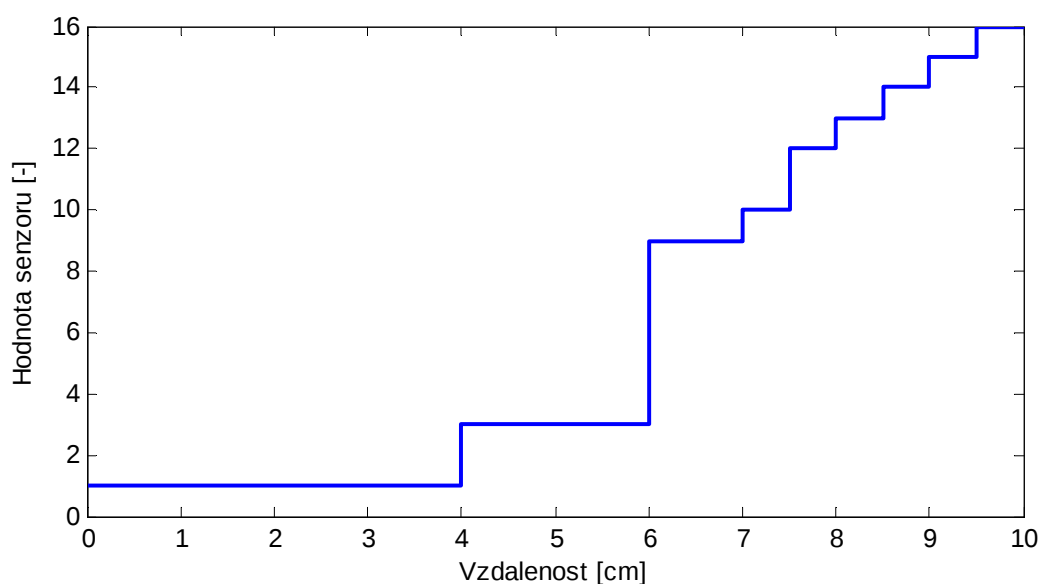
4. Software

Tato kapitola se z velké části zabývá popisem obsluhy periférií a implementace algoritmů pro použité mikrokontroléry MC9S08QG8 a MC9S08AW32. Všechny zdrojové kódy byly vyvíjeny ve vývojovém prostředí Freescale CodeWarrior [19] v programovacím jazyku ANSI C.

Závěr kapitoly je věnován vývoji počítačové aplikace implementované ve vývojovém prostředí Visual Studio v programovacím jazyku C# .NET a využívající DirectX.

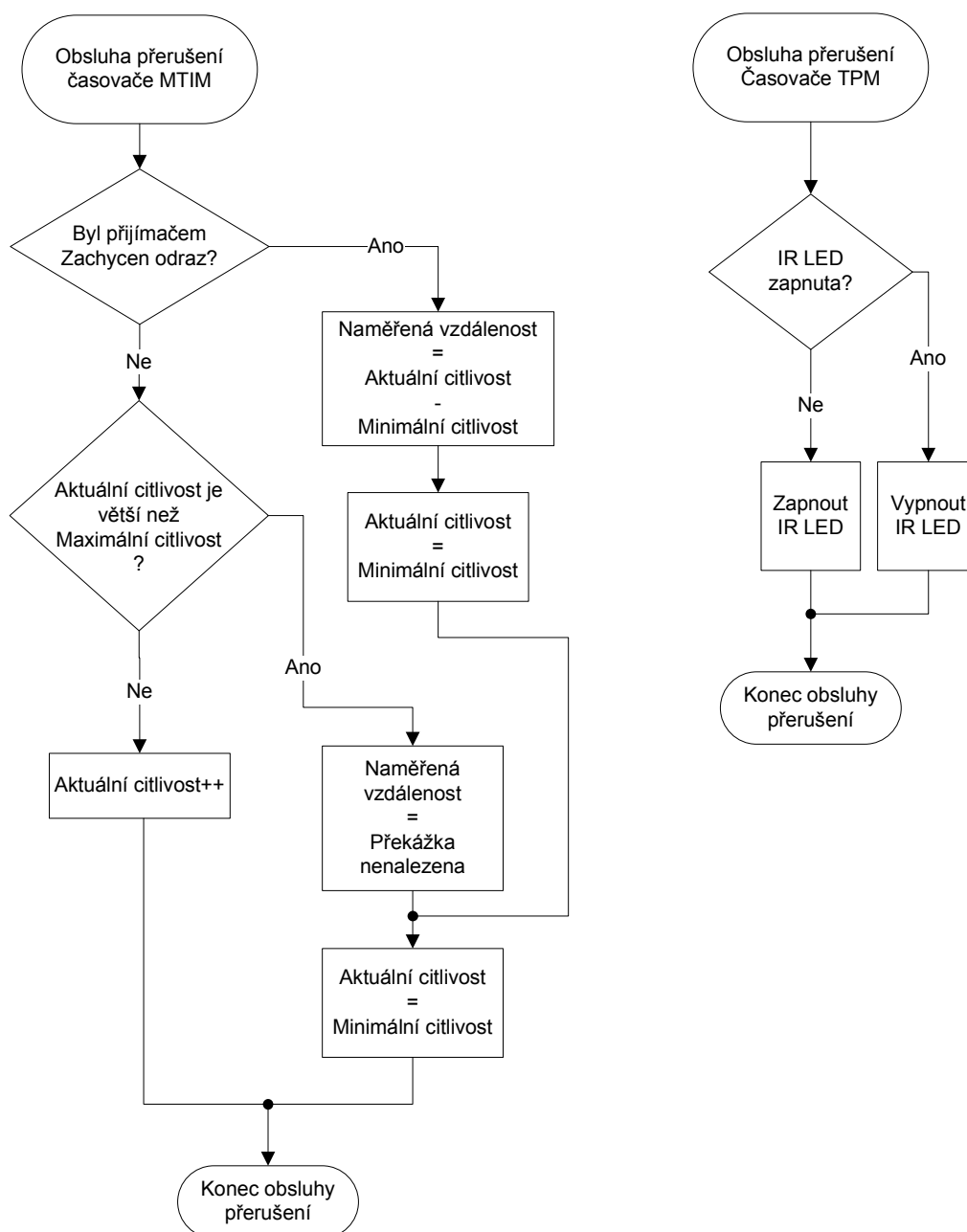
4.1. Měření vzdálenosti

Měření vzdálenosti využívá charakteristiky IR přijímače uvedené na obr. 14. Frekvence impulzů vysílací IR diody se však nepohybovala v celém rozsahu citlivostní charakteristiky. Při vysílání frekvence, na kterou je IR přijímač TSOP34836 nejvíce citlivý, se projeví nedokonalosti optických vlastností senzoru vzdálenosti a docházelo k chybám měření. Přesněji k zaznamenávání odrazů od mechanických součástí senzoru vzdálenosti nebo od konstrukce čelisti robotického ramene. Experimentálně byla zjištěna nejvhodnější minimální a maximální frekvence vysílání 46,5kHz a 55kHz. Při těchto hodnotách bylo dosaženo rozsahu měření vzdálenosti od 0 až do 10cm.



obr. 26. Statická převodní charakteristika senzoru vzdálenosti

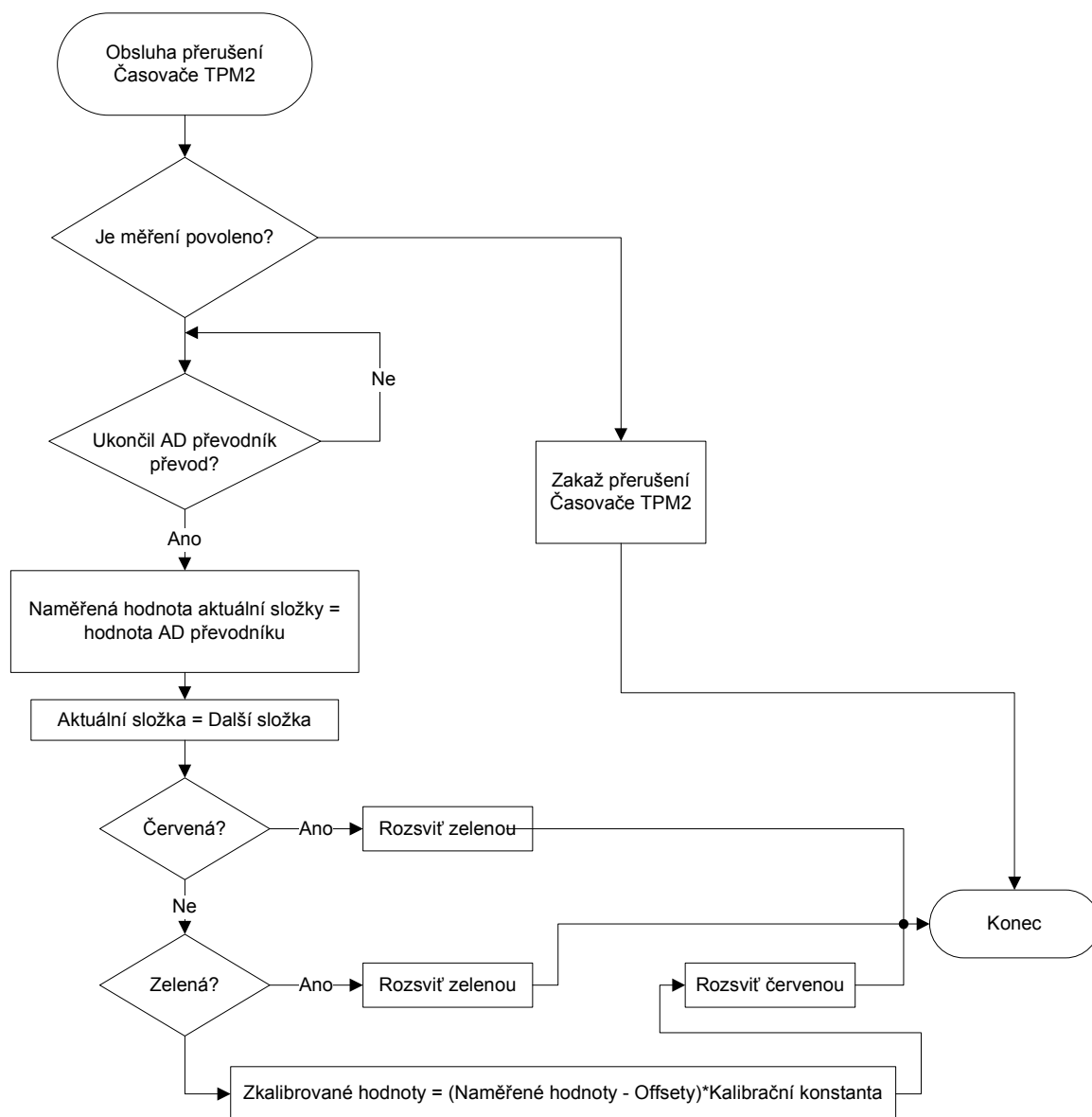
Samotné měření vzdálenosti probíhá dle níže uvedeného vývojového diagramu. K přetečení 8bitového časovače MTIM dojde jednou za 1ms a doba přetečení 16bitového časovače TPM je určena hodnotou „Aktuální citlivost“. Při přetečení dojde k zavolání příslušné obsluhy přerušení.



obr. 27. Vývojový diagram popisující algoritmus měření vzdálenosti

4.2. Měření barvy RGB senzorem

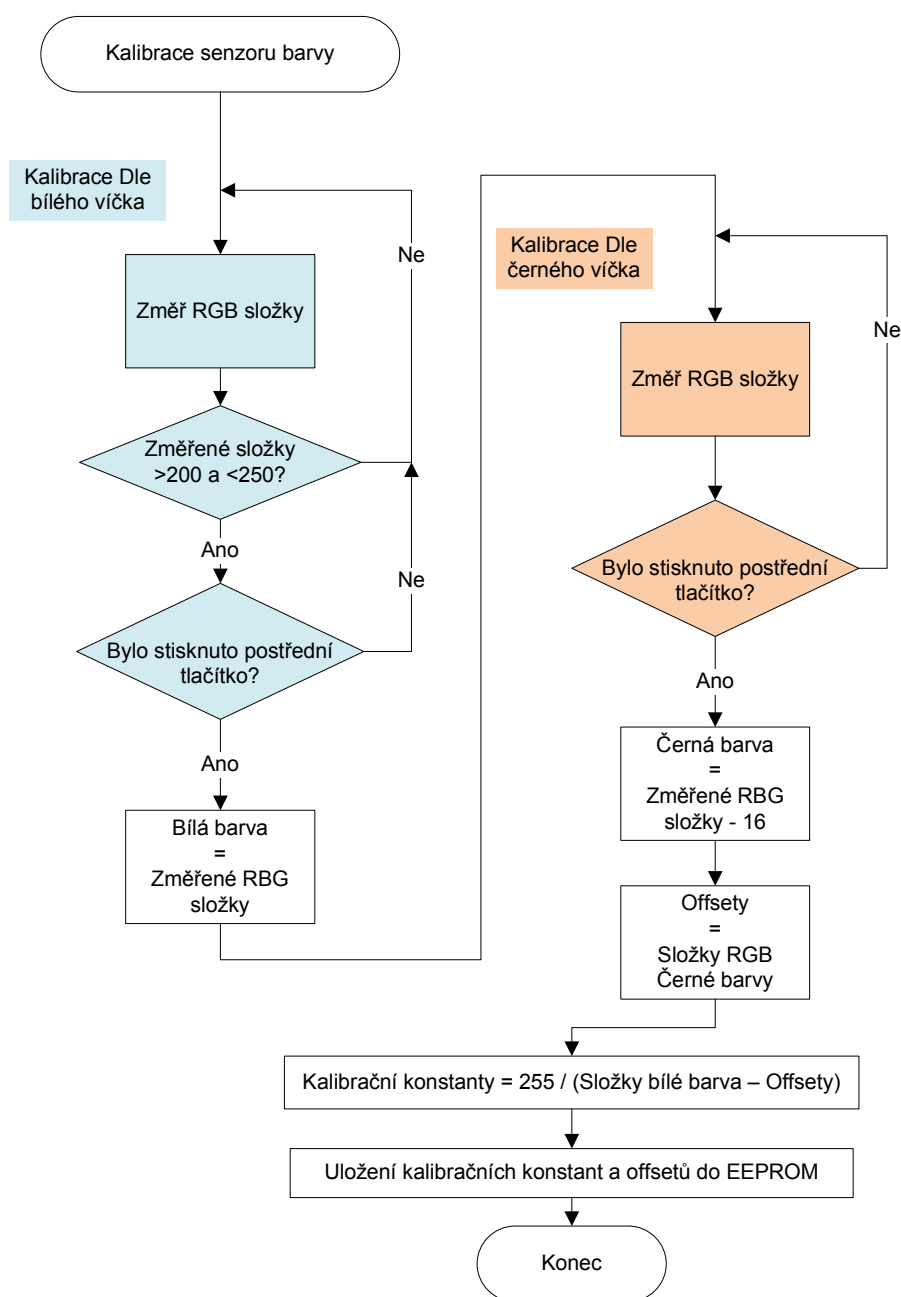
Pro měření barvy je třeba změřit intenzitu odraženého světelného záření při osvětlování měřeného předmětu jednotlivými složkami RGB LED. Výrobce zvoleného fotoodporu uvádí v katalogovém listu [12], že ustálení hodnoty fotoodporu trvá 35ms. Experimentálně však bylo zjištěno, že lepších výsledků bylo dosaženo, při době ustálení 100ms. To je perioda, s jakou dochází k přetečení časovače TPM2 mikrokontroléru MC9S08AW32. Doba převodu integrovaného aproximačního AD převodníku byla nastavena na 30us. Po odměření všech tří barevných složek jsou výsledné hodnoty upraveny tak, aby došlo ke kompenzaci offsetů a multiplikativní chyby způsobené nepatrnou odlišností v různé intenzitě svítivosti jednotlivých čipů RGB LED.



obr. 28. Vývojový diagram popisující měření barvy

4.2.1. Kalibrace senzoru barvy

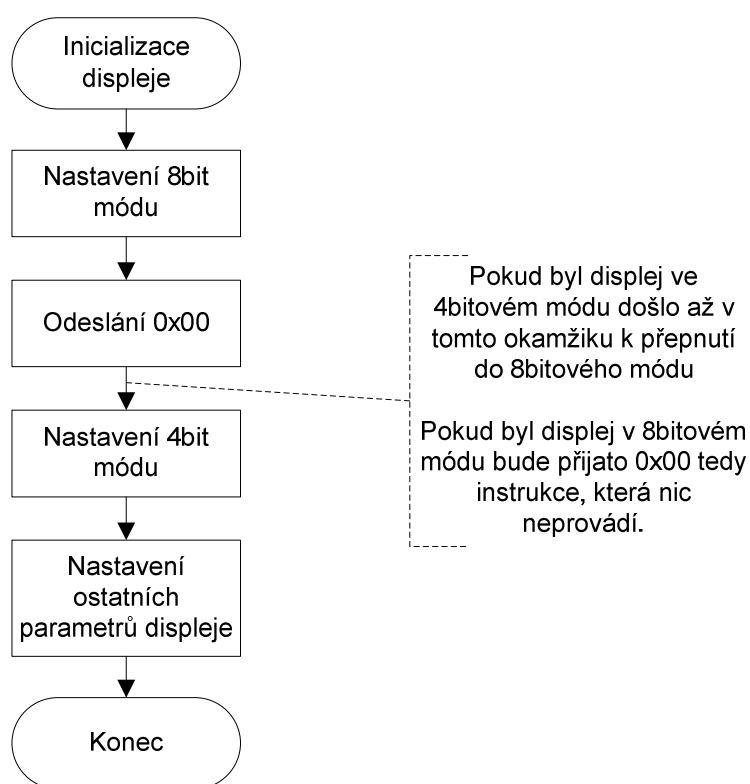
Pro správné rozlišení barev je třeba před začátkem měření provést kalibraci senzoru barvy. Ta se provádí změřením intenzity odraženého světelného záření od bílého a černého víčka. Případně je třeba přenastavit i trimr na hlavní desce (viz obr. 12b). Kalibrační konstanty jsou uchovávány v paměti EEPROM. Při změně světelných podmínek, ve kterých senzor barvy má pracovat, je však potřeba kalibrační proces opakovat.



obr. 29. Vývojový diagram postupu kalibrace senzoru barvy

4.3. Obsluha displeje s řadičem HD44780

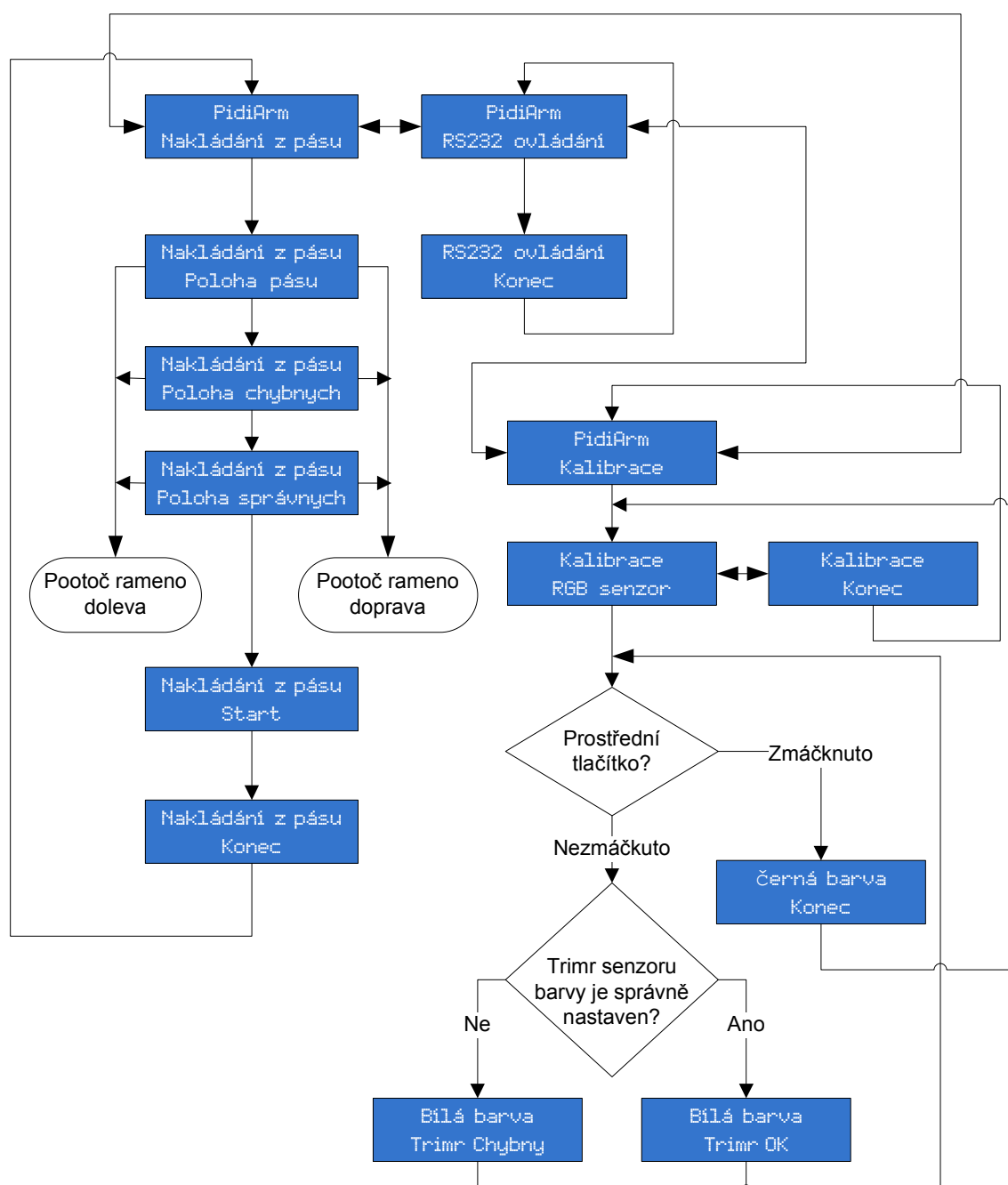
Obsluha dvouřádkového displeje byla napsána dle katalogového listu [6]. Nejprve je třeba displej přepnout z 8bitového do 4bitového módu. Pokud však dojde k restartu samotného mikrokontroléru (např. při ladění zdrojových kódů) obyčejná inicializační metoda, která přepíná z 8bitového módu 4bitového, selže, pokud byl displej do 4bitového módu přepnut již před restartem mikrokontroléru. Vylepšená inicializační rutina se s tímto problémem již vypořádat dokáže. Dále bylo použito několik znaků používajících diakritiku. Ty jsou při inicializační proceduře zapsány do paměti displeje CGRAM.



obr. 30. Vývojový diagram inicializační rutiny pro displej s řadičem HD44780

4.4. Uživatelské rozhraní

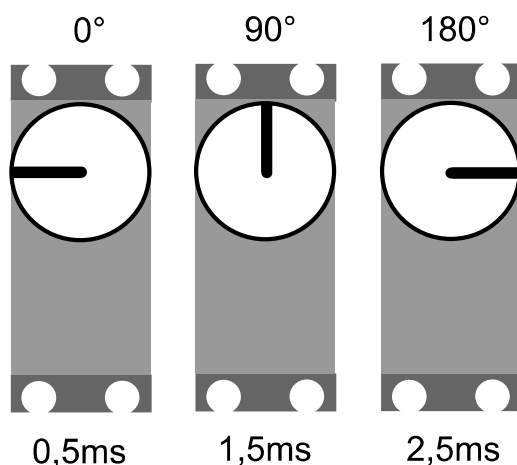
Jednoduché uživatelské rozhraní zprostředkované dvouřádkovým znakovým displejem a třemi tlačítky umožňuje spouštět a nastavovat parametry třídění, provádět kalibraci barevného čidla a povolovat manuální ovládání prostřednictvím RS232. Struktura uživatelského rozhraní je uvedena na obr. 31.



obr. 31. Struktura uživatelského rozhraní

4.5. Řízení modelářských servomotorů

Modelářské servomotory jsou hojně využívány v leteckém a automobilovém modelářství. Jejich výhodou je velký točivý moment vzhledem k jejich malé velikosti a jednoduché řízení. Nevýhodou je, že není poskytována žádná zpětná vazba. Rozsah natočení výstupní hřídele je většinou v intervalu 0° až 180° . Úhel natočení je přímo úměrný délce řídicího impulsů, jehož délka je v intervalu 0,5 až 2,5ms. Perioda opakování těchto impulsů bývá zpravidla 20ms, ale její přesnost není kritická.



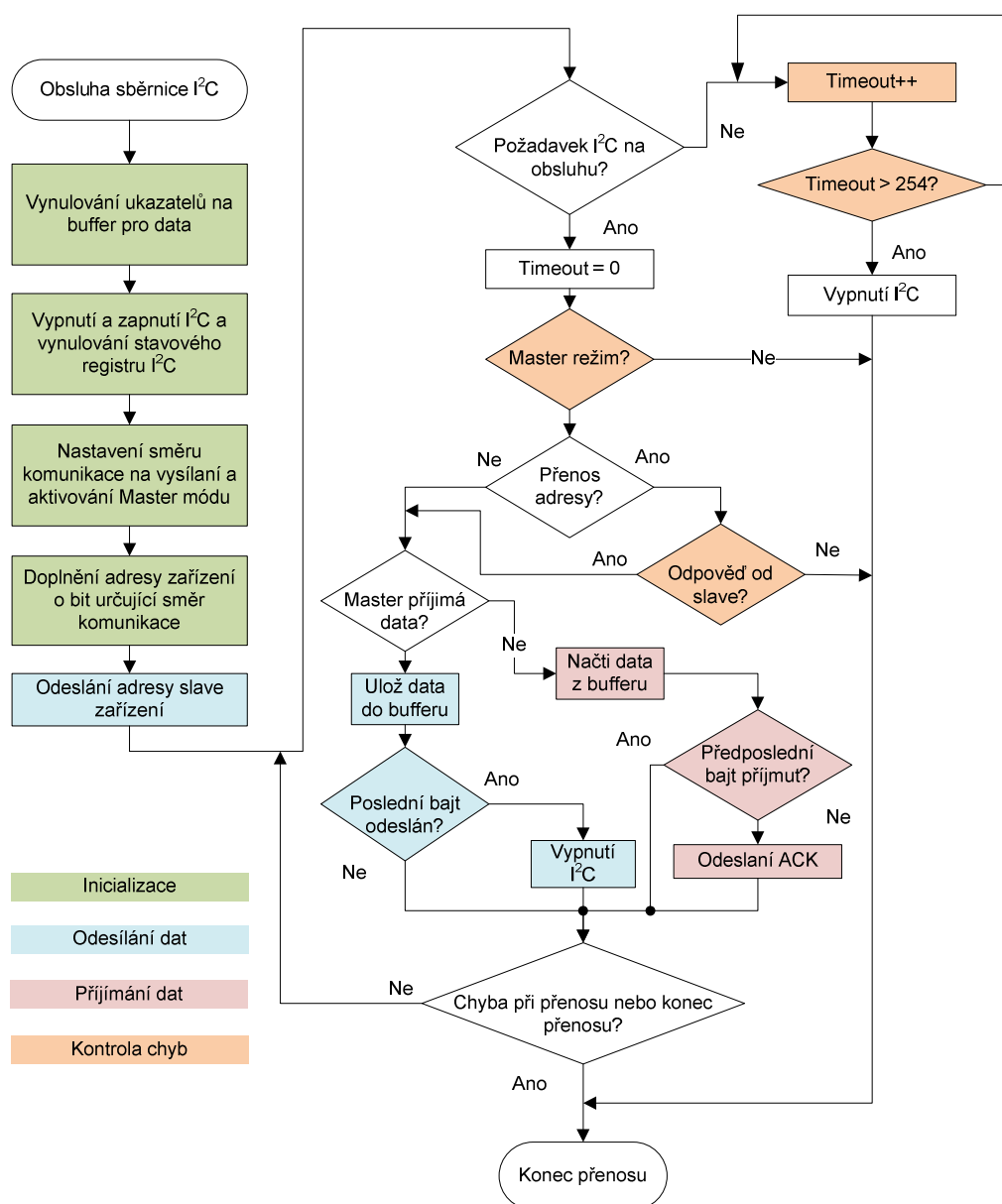
obr. 32. Tři různé natočení modelářského servomotoru při třech různých délkách řídicího impulsu

Pro efektivní řízení většího množství modelářských servomotorů je vhodné odesílat jednotlivé řídicí impulsy postupně. Tedy v jednom okamžiku je ovládán jen jeden servomotor. Je však potřeba přibližně dodržovat opakovací frekvenci řídicích impulsů 20ms. To znamená, že je tímto způsobem vhodné řídit maximálně 8 servomotorů. Pro více výstupů je třeba v jeden okamžik vyslat impulsů více najednou.

Jednotka Servo7QG používá jeden 16bitový časovač, který přetéká jednou za 2,5ms. Vhodnou volbou taktovacího kmitočtu bylo dosaženo toho, že délce řídicích impulsů 0,5 až 2,5ms odpovídá hodnota 0 až 4096 zapsaná do komparačního registru časovače. Generování impulsů tedy probíhá tak, že je daný výstup nastaven na log. 1, do komparačního registru je zapsána hodnota odpovídající žádané délce řídicího impulsu, časovač je vynulován a při shodnosti hodnoty čítače a komparačního registru je daný výstup nastaven do nuly. Poté následuje přetečení časovače a stejná procedura se opakuje pro dalších sedm servomotor. Pokud je aktivní plynulá změna polohy, tak je po každém vygenerování řídicího impulsu k aktuálnímu natočení přičtena hodnota odpovídající zvolené rychlosti, dokud není dosaženo cílového natočení. Velikost přírůstku natočení je v rozsahu 1 až 255.

4.6. Obsluha sběrnice I²C

Při implementaci obsluhy sběrnice I²C musel být kladen důraz na spolehlivost a mikrokontrolér hlavní desky musel být schopen řešit všechny situace, ke kterým může na této sběrnici dojít. Rychlost sběrnice byla z důvodu relativně dlouhých vodičů, vedoucích k desce senzorů na robotickém rameni a k regulátoru pásového dopravníku, snížena na 100kHz. Dále je popsán algoritmus odeslání dat hlavního mikrokontroléru. Implementace obsluhy pro „slave“ zařízení byla napsána dle vývojového diagramu v uvedeném datasheetu mikrokontroléru MC9S08QG8 [1] v kapitole věnované sběrnici I²C.



obr. 33. Obsluha sběrnice I²C mikrokontrolérem hlavní desky

4.6.1. Komunikační protokol jednotky Servo7QG

Komunikační protokol jednotky Servo7QG umožňuje nastavování natočení jednotlivých servomotorů nebo všech servomotorů najedou. Plynulá změna natočení a rychlost této změny se odesílá pro každý servomotor zvlášť. Aktuální hodnoty natočení je také možné číst a tak kontrolovat, zda již bylo dosaženo žádané cílové polohy. Hodnota natočení může být v rozsahu 0 až 4096 a hodnota rychlosti v rozsahu 0 až 255. Pokud je nastavena nulová rychlost, je požadavek na plynulou změnu polohy ignorován. Adresa jednotky Servo7QG je 0x5E.

Příkaz	1. bajt	2. bajt	Další bajty
Nastavení všech serv	0x5E	0x41 ('A')	14 bajtů hodnot natočení (hodnoty 0 až 4096 pro 7 serv)
Nastavení jednoho serva	0x5E	Pro zvolení serva 0x31 až 0x37 (‘1’ až ‘7’)	2 bajty hodnoty natočení (0 až 4096)
Plynulé nastavení jednoho serva	0x5E	0x46 ('F')	1 bajt pro zvolení serva 0x30 až 0x36 ('0' až '6') 2 bajty hodnoty natočení (0 až 4096)
Nastavení rychlosti plynulého pohybu serva	0x5E	0x53 ('S')	1 bajt pro zvolení serva 0x30 až 0x36 ('0' až '6') 1 bajt pro určení rychlosti (0 až 255)

tab. 1. Seznam příkazů pro ovládání jednotky Servo7QG

4.6.2. Komunikační protokol senzoru vzdálenosti

Prostřednictvím sběrnice I²C je možné senzor vzdálenosti vypínat a číst naměřené hodnoty. Pokud není nalezena žádná překážka, je naměřená hodnota 32. Pokud byla překážka detekována, je naměřená hodnota v intervalu 1 až 16. Adresa senzoru vzdálenosti je 0xDA.

Příkaz	1. bajt	2. bajt
Vypnutí senzoru	0xDA	0x4D ('M')
Zapnutí senzoru	0xDA	0x58 ('X')

tab. 2. Seznam příkazů pro ovládání senzoru vzdálenosti

4.6.3. Komunikační protokol regulátoru pásového dopravníku

Elektronika pásového dopravníku umožňuje změnu směru otáčení a PWM motoru v rozsahu 0 až 100% se 7bitovým rozlišením a měření proudu v rozsahu 0 až 1A také se 7bitovou přesností. Tedy pro spuštění pásového dopravníku je třeba odeslat jeden bajt, jehož hodnota je v intervalu -127 až 127. Adresa regulátoru pásového dopravníku je 0xBE.

4.7. Komunikační protokol RS232

Komunikační protokol bylo třeba navrhnout tak, aby byl schopný přenášet velké množství dat, proto bylo upuštěno od přímého potvrzování odeslaných příkazů za cenu možnosti vzniku chyb. Chybovost však byla vylepšena tím, že každý příkaz má určitou hlavičku a různou délku a před provedením daného příkazu je kontrolována správnost přijatých dat. Zejména zda jsou přijaté hodnoty v povolených mezích. Mikrokontrolér hlavní desky je schopný přijímat následující příkazy:

Příkaz	Hlavička	Data
Ovládání herním zařízením	„JOY“	Hodnoty herního zařízení pro 5 os. První bajt „P“ nebo „M“ určující znaménko hodnoty druhého bajtu (hodnota v intervalu 0 až 64)
Okamžitá změna natočení všech serv	„A“	10 bajtů určující hodnoty natočení pro 5 serv (5 hodnot v intervalu 0 až 4096)
Plynulá změna natočení serva	„S“	První bajt 0 až 6 pro zvolení serva Druhý bajt určuje rychlost (0 až 255) Následující dva bajty cílové natočení (0 až 4096)
Nastavení rychlosti pásového dopravníku	„BELT“	První bajt určuje hodnotu PWM motoru pásového dopravníku (-127 až 127), druhý bajt musí být stejný jako první.
Vypínání a nastavení počáteční polohy všech serv	„X“	„OFF“ vypne všechny serva „INIT“ nastaví serva do počáteční polohy
Vypnutí nebo zapnutí RGB senzoru	„C“	„0“ Vypne senzor „1“ Zapne senzor
Vypnutí nebo zapnutí senzoru vzdálenosti	„D“	„0“ Vypne senzor „1“ Zapne senzor
Zapsání barev zvolených jako správné do EEPROM	„EE“	1 bajt, jehož jednotlivé bity určují správné barvy

tab. 3. Seznam příkazů pro ovládání hlavní desky

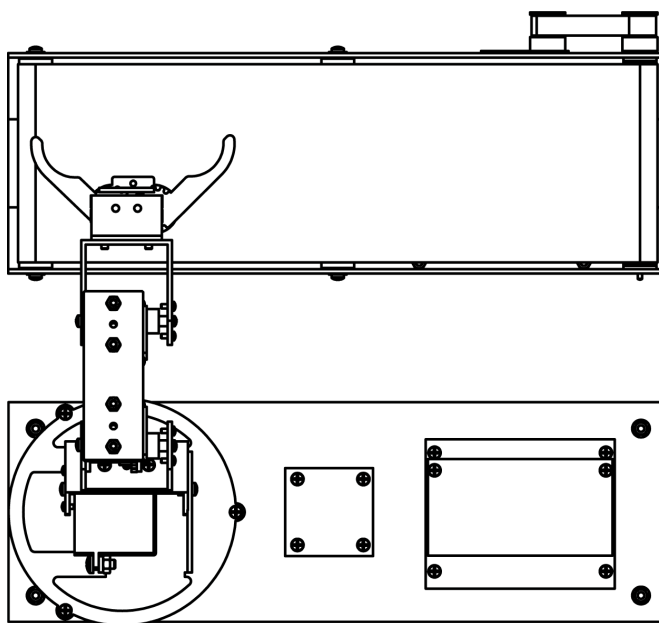
Při spuštění módu „RS232 ovládání“ a „Nakládání z pásu“ je aktivováno odesílání informací o stavech všech periférií. Data se odesílají jednou za 160ms a mají následující strukturu:

Bajt	Hodnota	Význam
0.	„D“	Hlavička
1. až 11.	5x (0 až 4096)	Aktuální natočení všech serv
12.	-127 až 127	Aktuálně nastavená hodnota PWM motoru pásového dopravníku.
13.	0 až 100	Hodnota proudu spotřebovávaného motorem pásového dopravníku
14. až 16.	3x (0 až 255)	kalibrované hodnoty naměřené RGB senzorem. Pokud sou všechny hodnoty nulové, je senzor vypnutý
17.	0 až 32 + (0x00 nebo 0x80)	Prvních 7 bajtů posledního bitu je použito pro hodnotu naměřenou senzorem vzdálenosti. Nejvyšší bajt indikuje stav spínače čelisti
18.	0x00 až 0xFF	Barvy zvolené jako správné, načtené z EEPROM

tab. 4. Popis dat odesílaných ovládání hlavní deskou

4.8. Třídící algoritmus

Jako demonstrace funkčnosti realizovaných senzorů bylo třeba implementovat způsob, jakým bude robotické rameno a pásový dopravník kooperovat, jak bude robotické rameno reagovat při rozpoznání víčka od PET lahve v určité vzdálenosti a jakým způsobem budou rozpoznávány jednotlivé barvy.



obr. 34. Vzájemná poloha robotického ramene PidiArm a pásového dopravníku

Před vlastním spuštěním nakládání víček je třeba, aby uživatel určil pomocí uživatelského rozhraní hlavní desky pozici, ve které se nachází pásový dopravník a ve které budou zaměřována víčka. Stejným způsobem se nastaví místo, kam budou odkládána špatná a správná víčka. Poté najede rameno do pozice, při které zaměřuje víčka od PET lahví a je spuštěn pásový dopravník. Při detekování víčka je pásový dopravník zastaven a robotické rameno začne nakládat víčko.

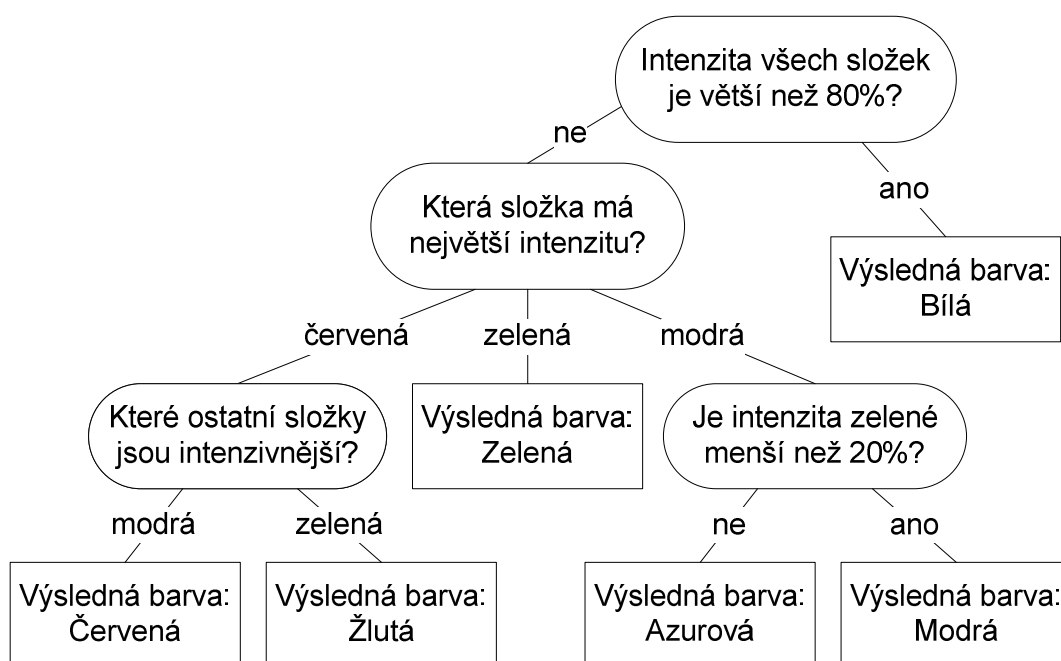
4.8.1. Nakládání víček od PET lahví z pásového dopravníku

Šíře pásu pásového dopravníku byla rozdělena na čtyři sektory a dle statické převodní charakteristiky senzoru vzdálenosti z obr. 26 byly určený krajní hodnoty naměřených vzdáleností pro tyto sektory. V průběhu testování však bylo zjištěno, že některá víčka mají různě reflexní povrch, což způsobovalo při umístění víčka na hranici sektorů problém. Způsob sbírání víček z pásového dopravníku byl tedy upraven tak, aby v případě hraniční hodnoty detekoval víčko tak, že je v sektoru, který je blíže k ramenu. Pokud nedojde

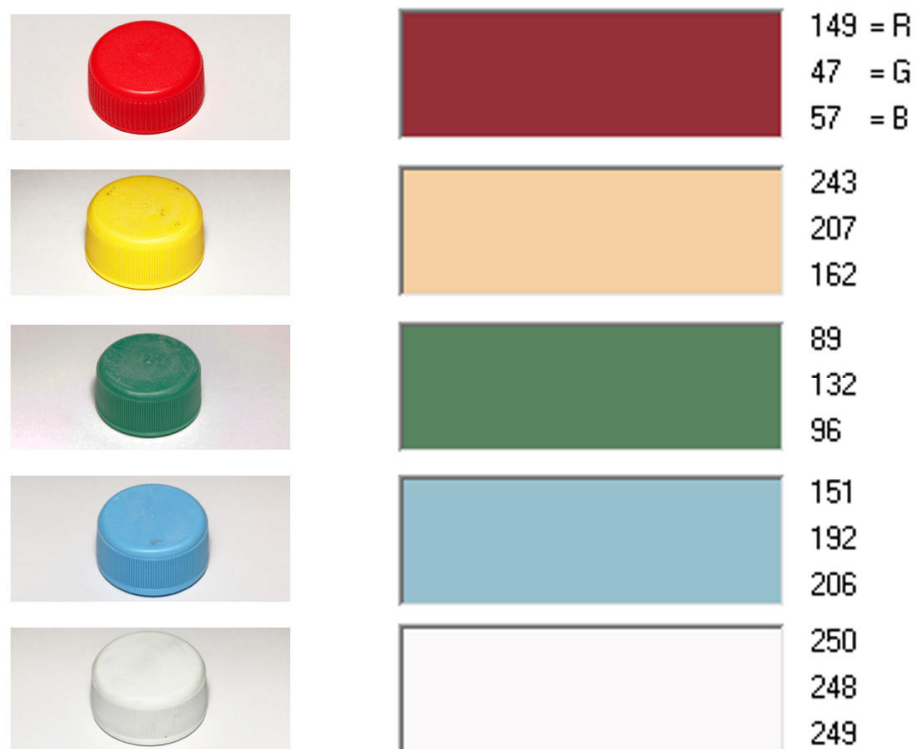
po sevření čelistí v daném sektoru k uchopení víčka a ke stisknutí spínače čelisti, je konec ramene posunut do vzdálenějšího sektoru, dokud není víčko uchopeno. Pokud víčko není uchopeno ani v nejvzdálenějším sektoru, vrátí se rameno do polohy zaměřování víček a je ověřeno, zda se opravdu nějaké víčko v tomto prostoru nachází. Pokud je víčko nalezeno, dojde k opakování celé této procedury. Po úspěšném uchopení víčka najede rameno do měřicí polohy, rozpozná barvu víčka a dle seznamu správných víček, zapsaném v paměti EEPROM, se rozhodne, zda bude víčko odloženo do sektoru pro špatná nebo pro správná víčka.

4.8.2. Rozpoznávání barev z dat RGB senzoru

Na spolehlivost rozpoznávání barvy byl kladen zřejmě největší důraz. Hledáním spojitostí mezi naměřenými hodnotami pro různé barvy byla vyvinuta metoda jak jednotlivé barvy rozpoznat a to i při nedokonalém zkalibrování barevného senzoru. Senzor je schopen správně vyhodnotit barvu, pokud je měřená plocha vzdálena maximálně 1,5cm od ideální vzdálenosti, která je přibližně 0,5cm od povrchu fotoodporu. To znamená, že je třídící linka schopna se vypořádat i s obráceně položenými víčky od PET lahví. Rozpoznáváno je 5 barev. Navrhnutá metoda však dokáže rozpoznat barev více, ale jak již bylo řečeno, senzor vzdálenosti nebyl schopen některé tmavé odstíny rozpoznat kvůli nízké reflexivitě těchto odstínů.

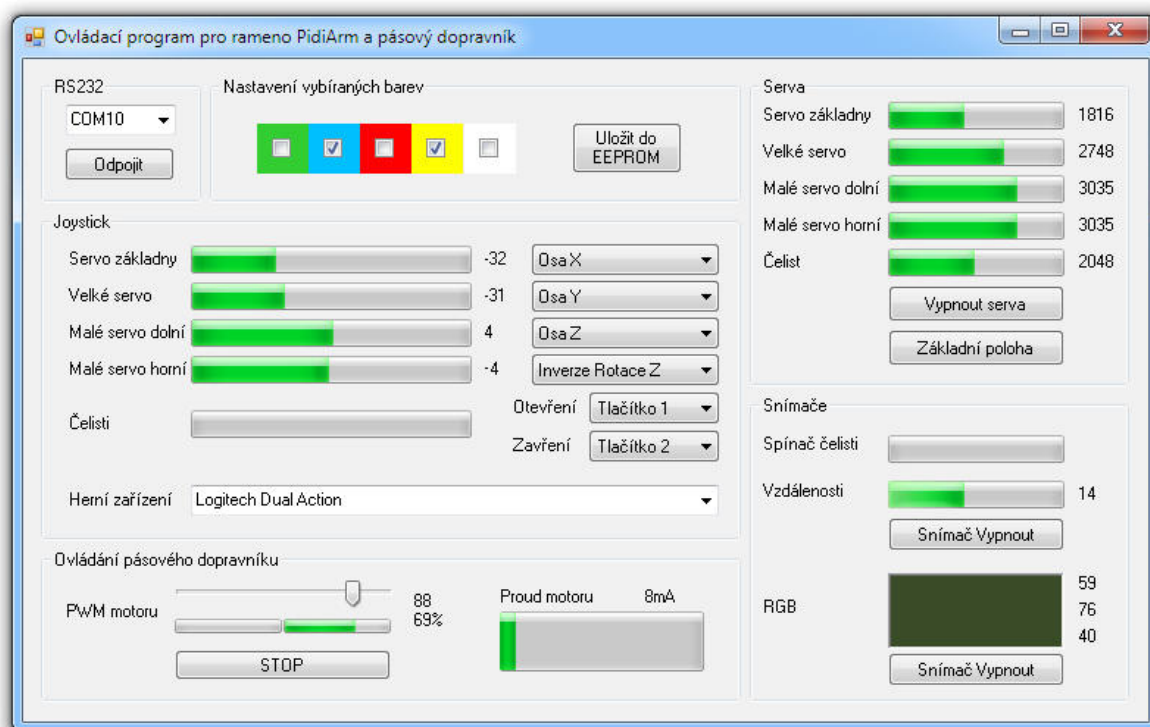


obr. 35. Vývojový diagram zpracování dat z RGB senzoru



obr. 36. Porovnání naměřených barev s reálnými

4.9. Ovládací program pro OS Windows



obr. 37. Ovládací program pro OS Windows

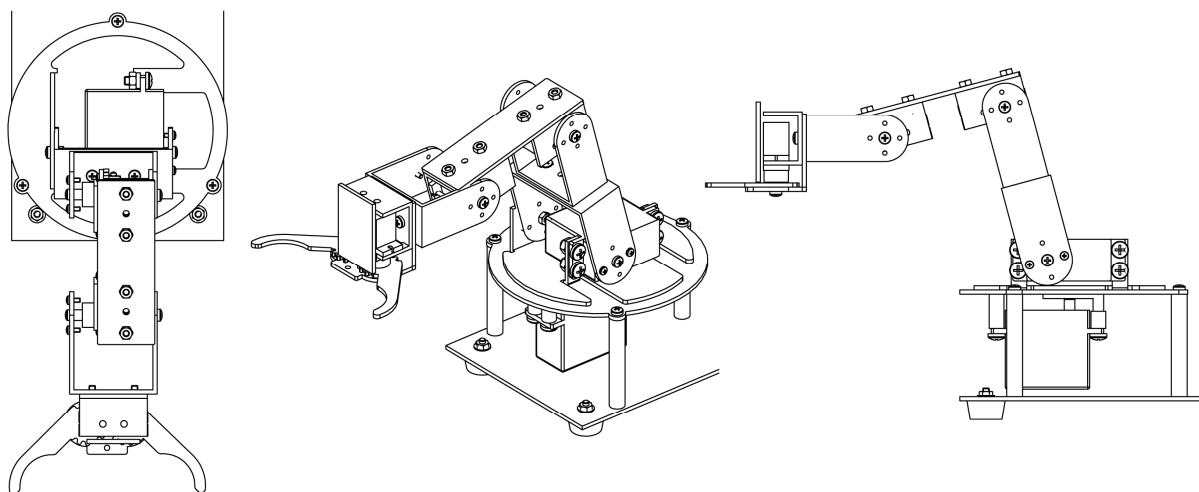
Počítačová aplikace vyvinutá v prostředí Visual Studio 2008 pod platformou .NET v programovacím jazyku C# přehledně zobrazuje všechny informace, které odesílá hlavní deska po komunikačním rozhraní RS232. Pro manuální ovládání ramene je možné použít libovolné herní zařízení a jeho osy přiřadit k osám robotického ramene a tlačítka pro ovládání čelisti. Ovládání pásového dopravníku je zprostředkováno posuvným ovladačem a tlačítkem STOP. Zobrazována je nejen aktuální hodnota PWM motoru pásového dopravníku, ale i proud, který odebírá. Oddíl „Serva“ zobrazuje aktuální hodnoty zapsané v jednotce Servo7QG a tlačítka pro zapínání a vypínání modelářských servomotorů. Oddíl „Snímače“ zobrazuje všechny naměřené hodnoty a stav spínače čelistí. Oba snímače je možné zapínat a vypínat. Poslední část programu slouží pro nastavení toho, jaké barvy více jsou správné a jaké barvy mají být vyhodnocené jako špatné. Funkčnost aplikace byla ověřena jak pod operačním systémem Windows 7 tak i pod operačním systémem Windows XP.

5. Popis mechanické části

Při návrhu mechanických dílů byl kladen důraz na co nejjednodušší výrobu. Většina jich je vyrobena z duralového plechu o tloušťce 2mm gravírováním, nebo z běžně dostupných duralových profilů. Některé díly byly vyhotoveny z mosazi. Podrobnější výkresy jsou součástí obrazové přílohy.

5.1. Robotické rameno PidiArm

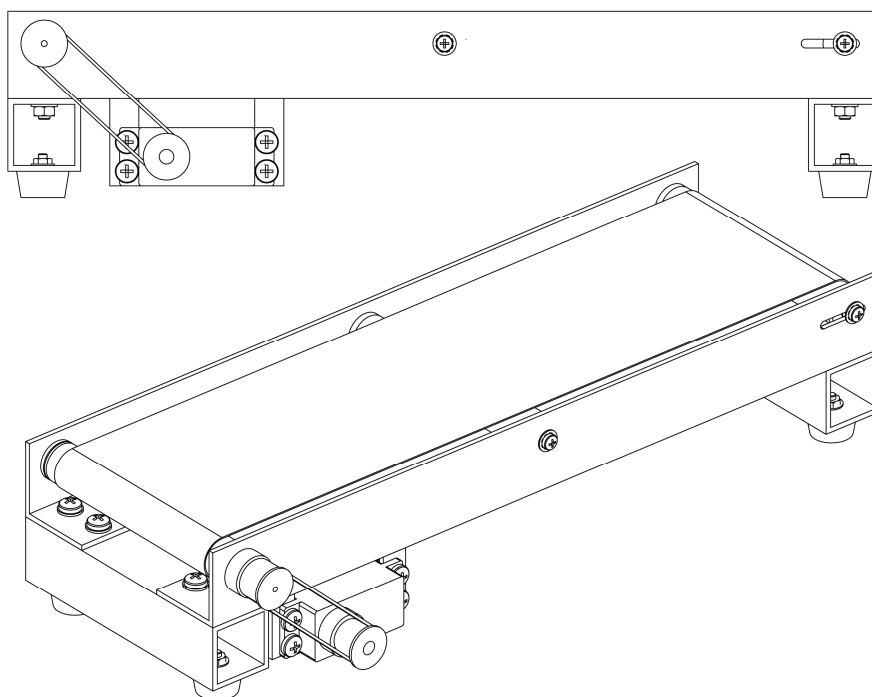
Všechny nosné díly robotického ramene PidiArm byly vygravírovány z duralového plechu o tloušťce 2mm. Nevýhoda takto vyrobených dílů je jejich křehkost, a proto bylo třeba ohýbané spoje zpevnit epoxidem. Otočná základna robotického ramene byla uložena do mosazných pouzder tak, aby nebyla radiálně zatěžována hřídel servomotoru a zároveň bylo zaručeno nízké tření. Jako servomotor pro otáčení základnou a zvedání celého ramene bylo použito modelářské servo standardní velikosti o rozměrech 40x20x36,5mm Hitec HS-311, které poskytuje moment 3,5kg/cm při napájecím napětí 6V. Dále byla použita mikroserva Tower Pro MG90S o rozměrech 22,8x12,2x28,5mm, která poskytují moment 2,2kg/cm při napájecím napětí 6V.



obr. 38. Sestava robotického ramene PidiArm

5.2. Pásový dopravník

Robustní konstrukce pásového dopravníku se sestává z dvojice duralových L profilů 30x30mm, dvojice čtvercových profilů 25x25mm a třech hřídelí, z nichž jedna slouží pro pohánění gumového pásu a jedna pro jeho napínání. Všechny tyto hřídele jsou uloženy v mosazných pouzdrech, která tvoří kluzná ložiska. Hnací hřídel je nasazena na mosazných pouzdech přes ložiskové jehly, které byly do pouzder hnací hřídele zalisovány a zabezpečeny epoxidovým lepidlem. Na jednu z těchto ložiskových jehel byla nalisována a epoxidovým lepidlem zajištěna řemenice P14-3M-09. Ta je poháněna přes ozubený řemen HTD168-3M-9 a další řemenici P14-3M-09 modelářským servomotorem Tower Pro MG995, jež byl upraven na obyčejný stejnosměrný motor, který poskytuje moment až 11kg/cm. Ten je přišroubován k L profilu přes vyfrézované drážky tak, aby bylo možné ozubený řemen pohodlně napínat.



obr. 39. Sestava pásového dopravníku

6. Závěr

Testováním všech podsystémů modelu linky na rozřazování barevných víček od PET lahví byly ověřeny výhody a nevýhody zvolených metod řešení a jejich použitelnost v praxi a případně i v dalších robotických systémech.

Měření vzdálenosti pomocí rozmítání frekvence vysílací diody se spoléhalo na známou nelineární charakteristiku citlivosti přijímače z obr. 14. Předpoklad toho, že je možné v případě známé charakteristiky tuto nelinearitu kompenzovat, nebyl příliš vhodný a to z důvodu malého rozlišení časovače mikrokontroléru senzoru vzdálenosti. Pro přesné měření vzdálenosti tedy není tento způsob měření příliš vhodný, ale pro potřeby třídící linky byla přesnost dostatečná.

Metoda zvolená pro měření barvy fungovala velmi uspokojivě. Což je zřejmé i z porovnání reálných barev víček od PET lahví s naměřenými hodnotami na obr. 36. Nevýhoda této metody spočívala jedině v nutnosti provést kalibraci tohoto RGB senzoru při změně okolních světelných podmínek, a že doba potřebná pro změření barvy, při využití fotoodporu, je minimálně 300ms.

Jednotka Servo7QG určená pro generování řídicích impulsů až pro sedm servomotorů fungovala s požadovanou přesností a spolehlivostí a je vhodná pro použití v jiných robotických systémech používajících modelářské servomotory.

Komunikační protokoly vyvinuté pro řízení všech podsystémů hlavní deskou po sběrnici I²C a pro řízení a zjišťování stavů modelu třídící linky nadřízeným počítačem prostřednictvím komunikačního rozhraní RS232 fungovaly bez znatelných chyb a to i bez použití paritních bitů nebo kontrolních součtů, i přes absenci přímého potvrzování přijatých ovládacích příkazů.

Realizovaný model třídící linky a všechny jeho elektronické a mechanické části tedy dostatečně demonstrují správnost zvolených postupů a metod.

Použitá literatura

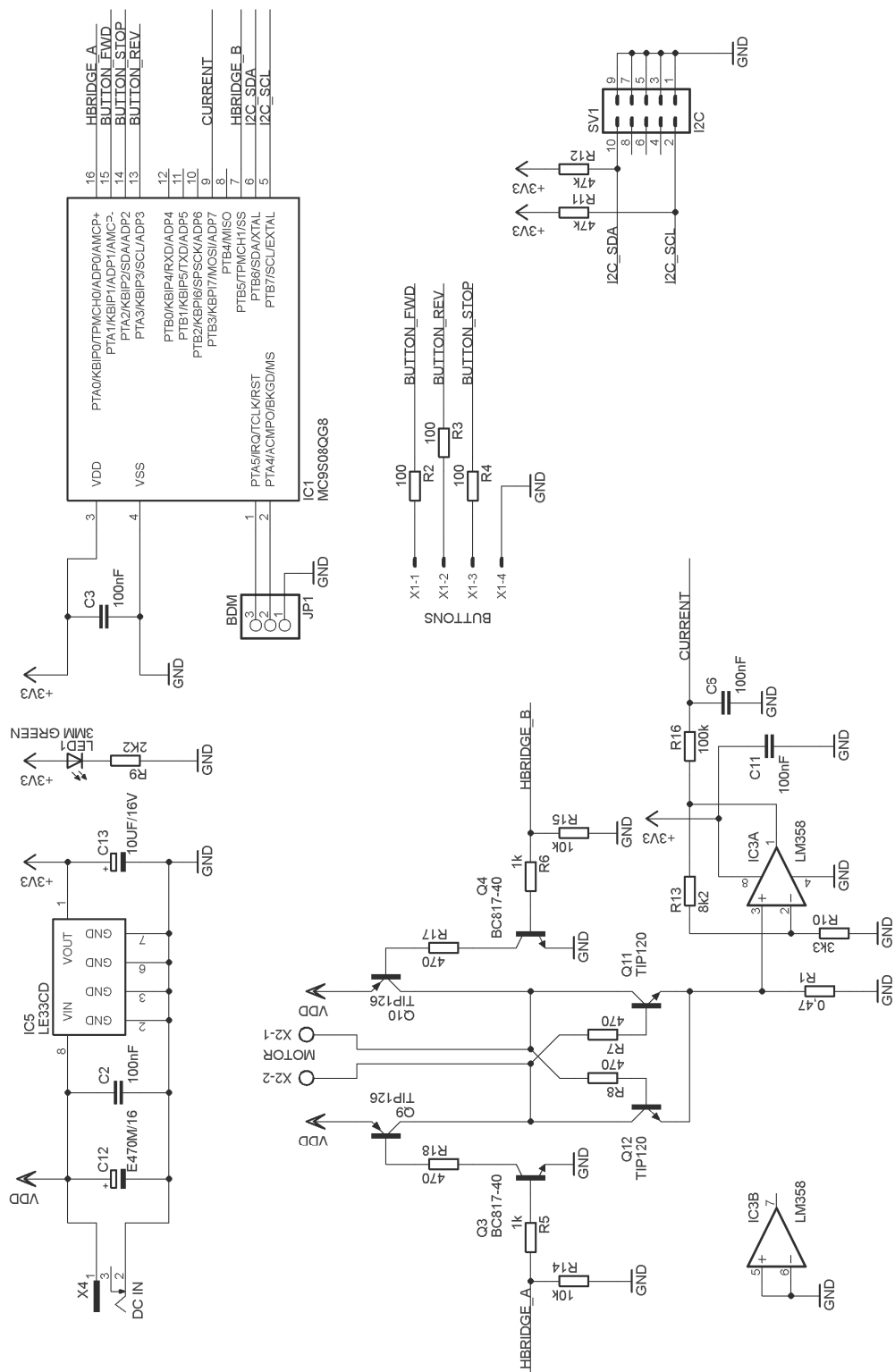
- [1] Dataheet k mikrokontrolérům řady MC9S08QG8 [cit. 2010-05-28]
http://freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08QG8.pdf [online]
- [2] Dataheet k mikrokontrolérům řady MC9S08AW [cit. 2010-05-28]
http://freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08AW60.pdf [online]
- [3] Dataheet k IR přijímačům řady TSOP348.. [cit. 2010-05-28]
<http://www.vishay.com/docs/81732/tsop348.pdf> [online]
- [4] Dataheet k IR LED TSUS4300 [cit. 2010-05-28]
<http://www.vishay.com/docs/81053/81053.pdf> [online]
- [5] Dataheet k I²C EEPROM řady 24C0x [cit. 2010-05-28]
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc0180S.pdf [online]
- [6] Dataheet k LCD řadiči HD44780 [cit. 2010-05-28]
<http://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf> [online]
- [7] Dataheet ke stabilizátorům řady LFix [cit. 2010-05-28]
<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/2574/lf50ab.pdf> [online]
- [8] Dataheet ke stabilizátorům řady LExx [cit. 2010-05-28]
<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/2573/le33c.pdf> [online]
- [9] Dataheet k operačnímu zesilovači LM358 [cit. 2010-05-28]
<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/2163/lm358.pdf> [online]
- [10] Dataheet k obvodu MAX232 [cit. 2010-05-28]
<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX220-MAX249.pdf> [online]

- [11] Dataheet k tranzistoru TIP120 a TIP126 [cit. 2010-05-28]
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/mospec/TIP127.pdf> [online]
- [12] Dataheet k fotoodporu VT83N1 [cit. 2010-05-28]
http://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/44-3635DTS_vt800seriesdatasheet.pdf [online]
- [13] I²C In Wikipedia : the free encyclopedia [cit. 2010-05-28]
<http://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C> [online]
- [14] RS-232 In Wikipedia : the free encyclopedia [cit. 2010-05-28]
<http://en.wikipedia.org/wiki/RS-232> [online]
- [15] RGB In Wikipedia : the free encyclopedia [cit. 2010-05-28]
<http://cs.wikipedia.org/wiki/RGB> [online]
- [16] Kubečka, Martin. Možné problémy při komunikaci s I²C EEPROM [cit. 2010-05-28]
<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Navrhy-vyvojare/ART592-Mozne-problemy-pri-komunikaci-s-I2C-EEPROM.html> [online]
- [17] NAGEL, Christian, et al. *C# 2005 Programujeme profesionálně*.
Brno : Computer Press, a.s., 2006. 1398 s. ISBN 80-251-1181-4.
- [18] Harris, M. The Code Project - Interfacing with a Joystick using C# [cit. 2010-05-28]
<http://www.codeproject.com/KB/directx/joystick.aspx> [online]
- [19] Freescale CodeWarrior Development Tools
<http://www.freescale.com/codewarrior> [online]

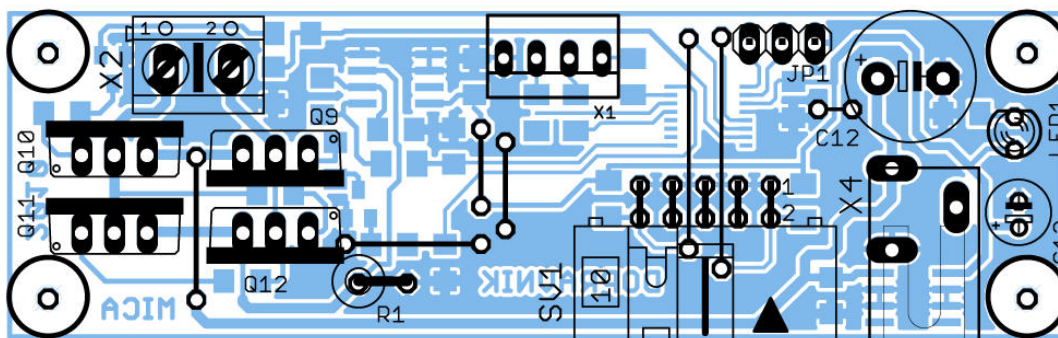
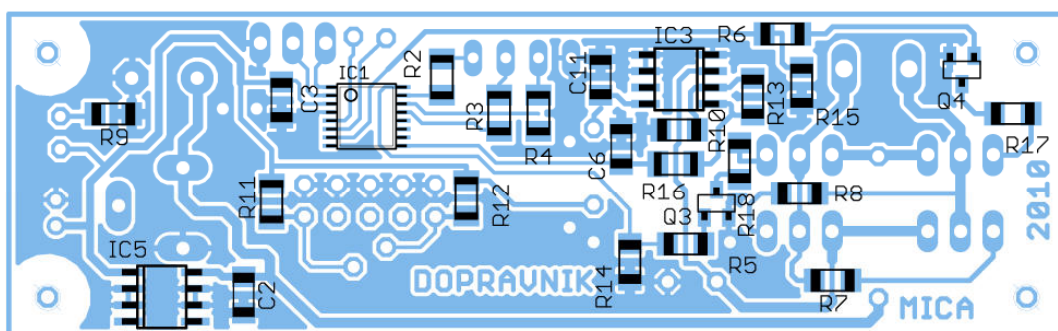
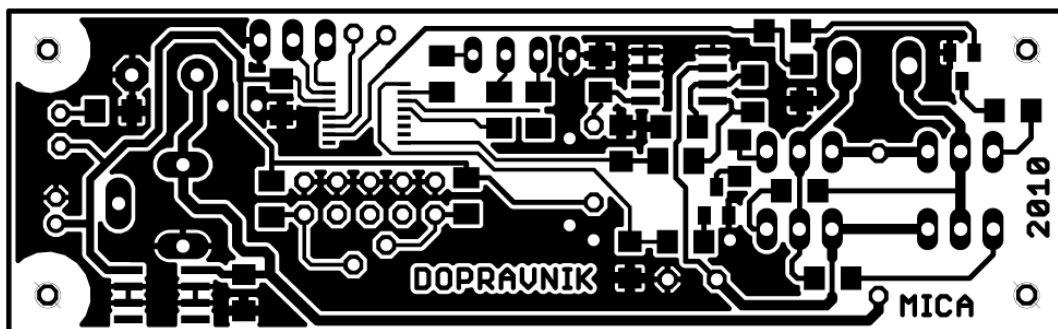
Obsah přiloženého CD

- Datasheety
- Fotografie
- PC Aplikace
- Výkresy VariCAD
- Zdrojové kódy Mikrokontrolérů

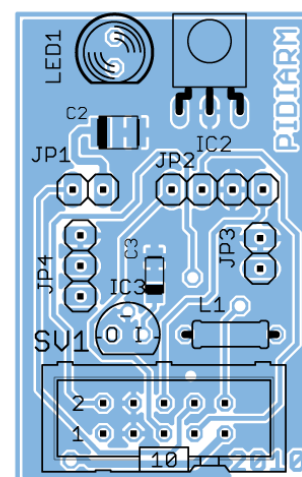
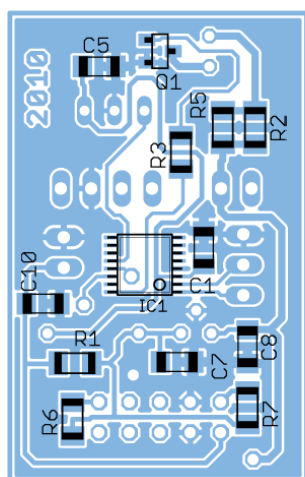
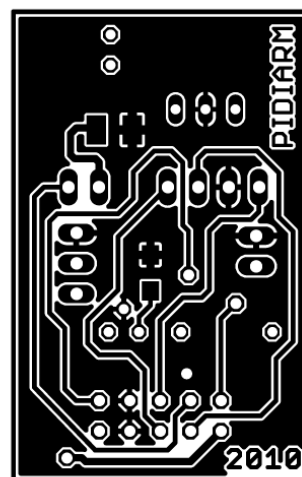
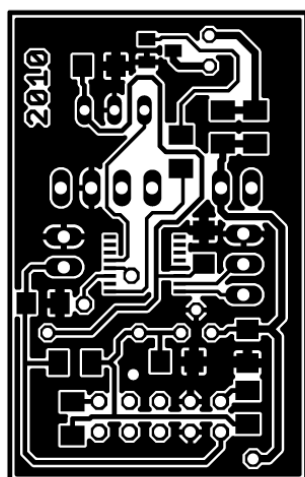
Příloha A - Obrazová příloha



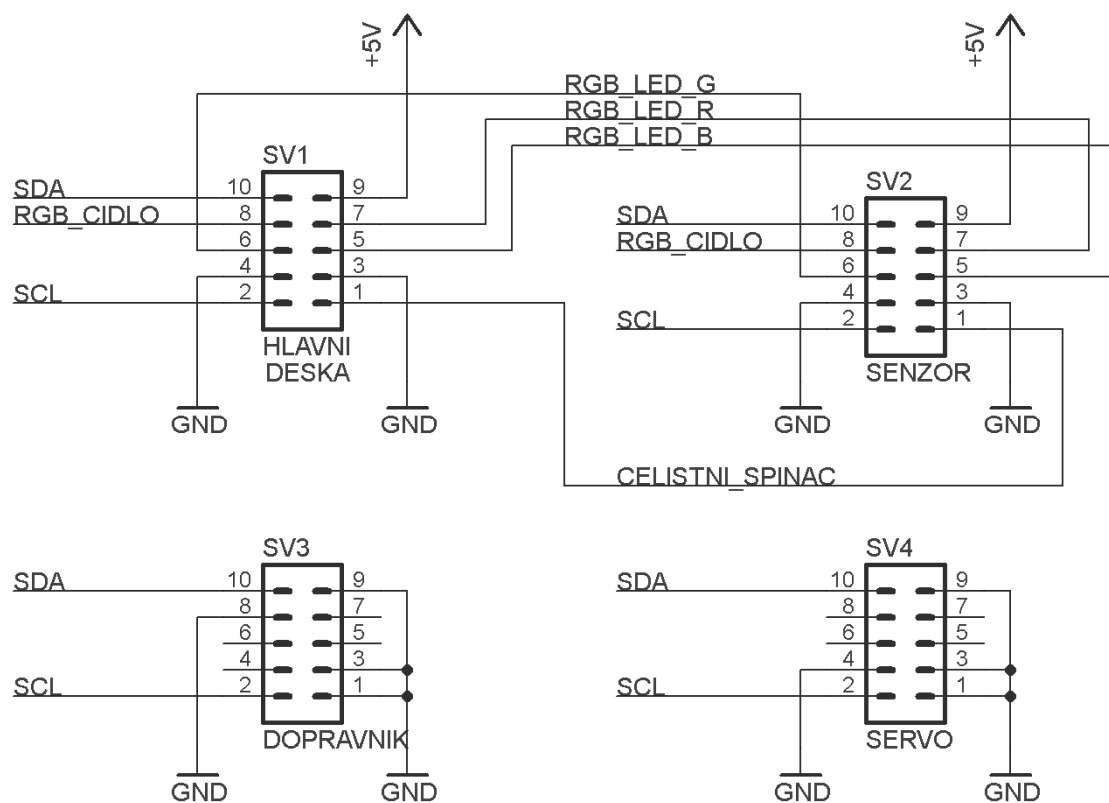
Obr. A1 Schéma zapojení regulátoru pásového dopravníku



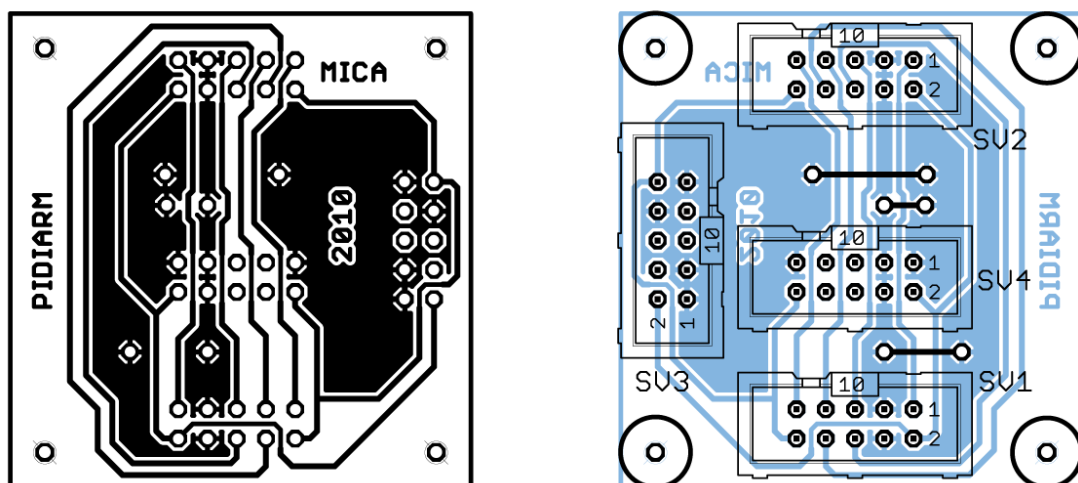
Obr. A2 Plošný spoj a osazovací výkres regulátoru pásového dopravníku



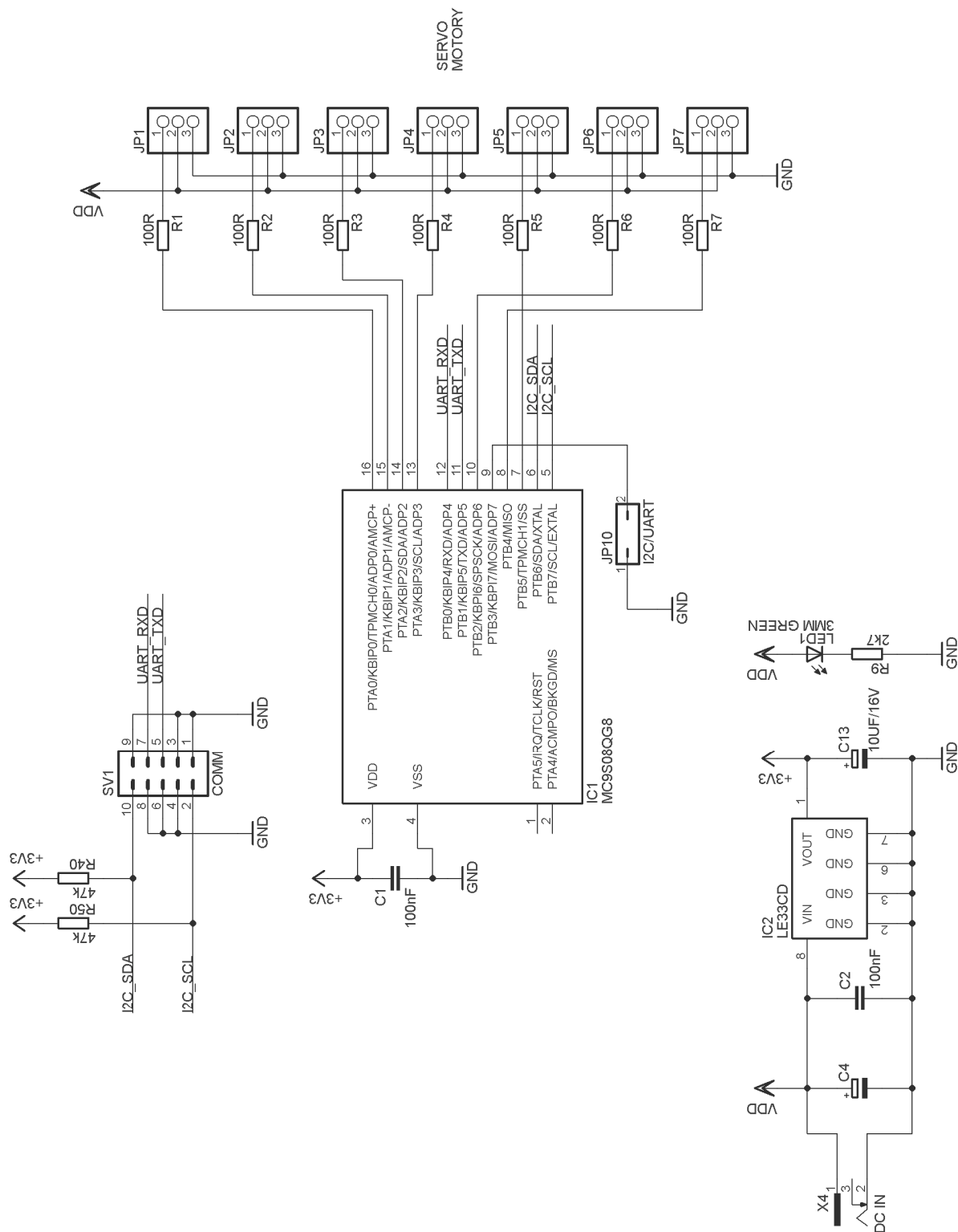
Obr. A4 Plošný spoj a osazovací výkres Desky senzorů



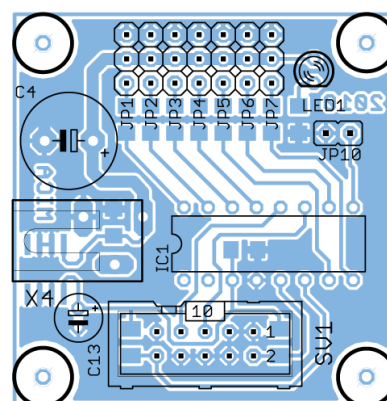
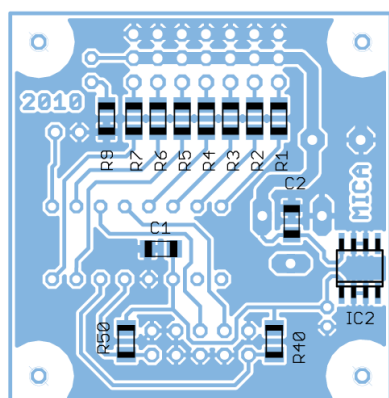
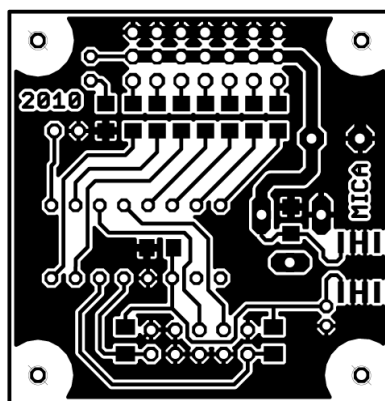
Obr. A5 Schéma zapojení propojovací desky



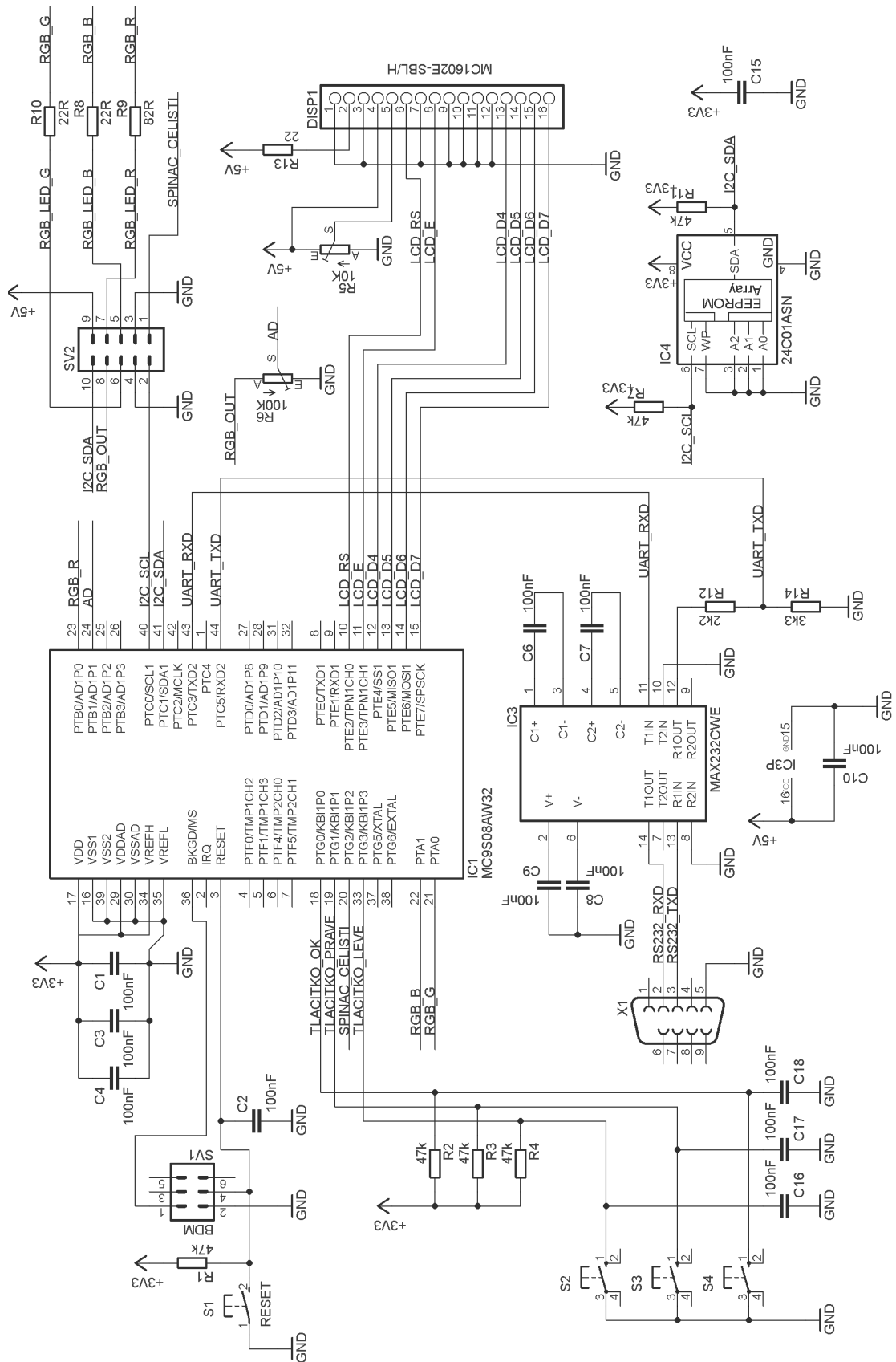
Obr. A6 Plošný spoj a osazovací výkres propojovací desky



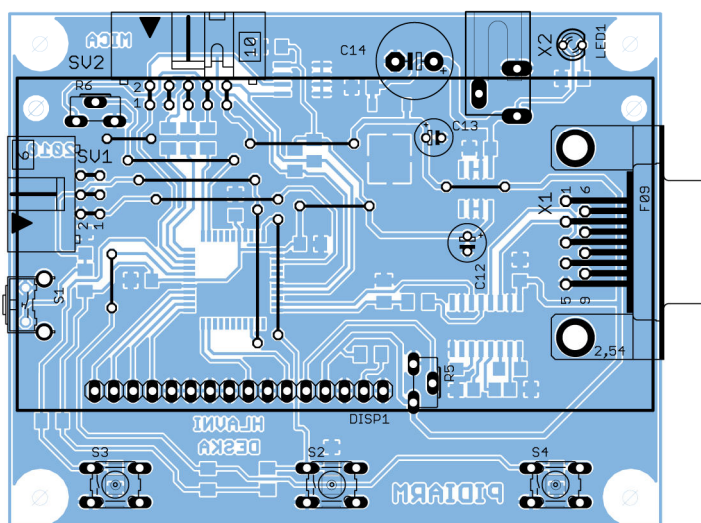
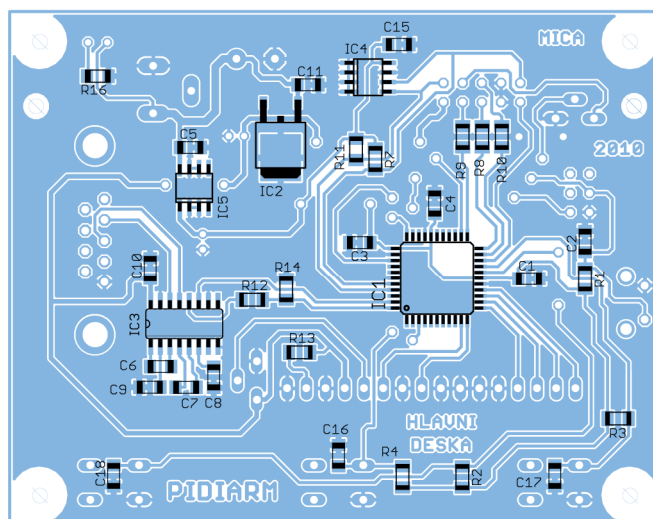
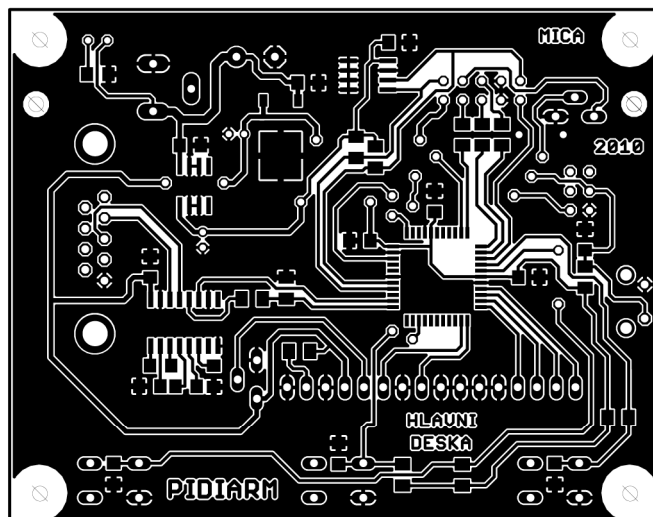
Obr. A7 Schéma zapojení jednotky Servo7QG



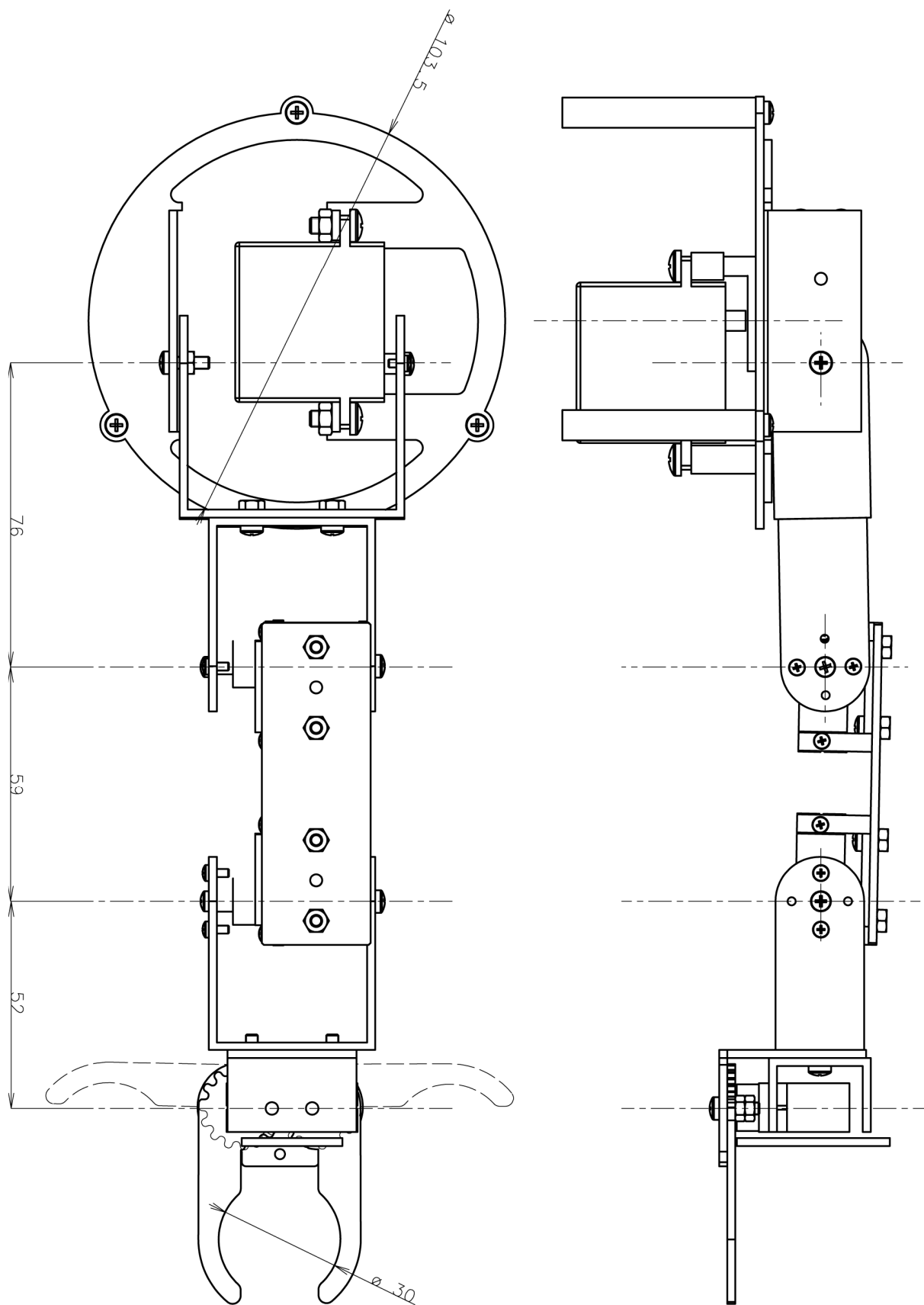
Obr. A8 Plošný spoj a osazovací výkres jednotky Servo7QG



Obr. A9 Schéma zapojení Hlavní desky



Obr. A10 Plošný spoj a osazovací výkres hlavní desky



Obr. A12 Výkres sestavy robotického ramene PidiArm