

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Návrh a realizace výukového modelu Kulička na tyči

Roman Kubánek

Bakalářská práce

2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman Kubánek**
Osobní číslo: **I09336**
Studijní program: **B2646 Informační technologie**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Název tématu: **Návrh a realizace výukového modelu Kulička na tyči**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Práce se bude zabývat návrhem, realizací a testováním laboratorního výukového modelu "Kulička na tyči". Základem elektronické řídicí jednotky bude mikroprocesor fy Atmel, řady ATmega. Model bude mít možnost jak autonomního řízení polohy kuličky na rameni vestavěným číslicovým regulátorem, tak i osobním počítačem s příslušným programovým vybavením. Komunikace mezi osobním počítačem bude možná s využitím komunikace po sériové lince (RS232, USB případně s využitím bezdrátového komunikačního rozhraní Bluetooth). Firmware pro mikroprocesor bude naprogramován v assembleru a v jazyce C pro mikrokopočítače Atmel AVR v prostředí AVR studia od fy Atmel.

Teoretická část:

- proveďte rešerši stavu výukových modelů typu "Kulička na tyči",
- navrhnete možné technické řešení výukového modelu,
- proveďte rozbor navrhovaného řešení se zaměřením na popis jednotlivých komponent (popis řídicí elektroniky, akčního členu, použitých senzorů atd.).

Implementační část:

- společně s vedoucím práce zajistíte realizaci mechanické části modelu,
- realizujete elektronickou řídicí jednotku modelu,
- naprogramujete firmware procesoru řídicí jednotky elektroniky pro možnost řízení polohy kuličky z nadřazeného PC,
- na úrovni firmware realizujete autonomní PID regulátor pro řízení polohy kuličky na tyči.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Záhlava Vít: **Návrh a konstrukce DPS, BEN - technická literatura, 2011, ISBN 978-80-7300-266-4**

Plíva Zdeněk: **Eagle Prakticky, BEN - technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-252-7**

Burkhard Mann: **C pro mikrokontroléry, BEN - technická literatura, 2003, ISBN 80-7300-077-6**

Herout Pavel: **Učebnice jazyka C - 1. díl, Koop, 2002, ISBN 978-80-7232-383-8**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Libor Havlíček, Ph.D.

Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce:

19. prosince 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

10. května 2013



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.



Ing. Daniel Houc, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 29. března 2013

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 27.5.2013

Roman Kubánek

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Liborovi Havlíčkovi Ph.D za pomoc při výrobě desek plošných spojů.

Anotace

Obsahem práce je tvorba řídicího systému pro výukový model Kulička na tyči od samotného návrhu přes tvorbu desek plošných spojů, naprogramování mikroprocesoru ATmega8 po způsob ovládání modelu. Zahrnuje popis použitých elektronických prvků jako jsou snímače a obvody pro uživatelské rozhraní, popis použitých signálů a obvodů procesoru ATmega.

Klíčová slova

Kulička na tyči, ATmega, řízení polohy.

Title

Design and implementation of education model Ball and beam.

Annotation

The work includes the creation of a control system for educational Ball and stick model of the actual design through creating printed circuit boards, programming the microcontroller ATmega8 to way control model. Includes description of the electronic devices such as sensors and circuits for the user interface, a description of the signals and the processor circuitry ATmega.

Keywords

Ball and beam, ATmega, position control.

Obsah

| | |
|--|----|
| Seznam zkratk | 8 |
| Seznam obrázků | 9 |
| Seznam tabulek | 10 |
| 1 Úvod..... | 11 |
| 2 Model kulička na tyči | 12 |
| 2.1 Podobné modely | 12 |
| 3 Zpětnovazební řízení..... | 16 |
| 3.1 PSD regulátor..... | 16 |
| 3.2 Měření polohy..... | 17 |
| 4 Řídicí elektronika..... | 19 |
| 4.1 Mikroprocesor ATmega8..... | 20 |
| 4.2 IO FT232RL | 21 |
| 4.3 Driver displeje SAA–1064..... | 22 |
| 4.3.1 Segmentové led displeje | 24 |
| 4.4 Modelářský servomotor | 25 |
| 4.4.1 PWM signál | 26 |
| 5 Návrh schéma zapojení a DPS..... | 27 |
| 5.1 DPS1 | 27 |
| 5.1.1 Napájení | 28 |
| 5.1.2 Přenos dat..... | 29 |
| 5.1.3 Ovládací a signalizační prvky..... | 32 |
| 5.2 DPS2 | 33 |
| 6 Program..... | 34 |
| 7 Závěr | 39 |
| Literatura..... | 40 |
| Příloha A – Sklon tyče pro odpovídající střídu PWM | |
| Příloha B – Schéma zapojení | |
| DPS1 | 1 |
| DPS2 | 3 |
| Příloha C – Seznam součástek | |
| Příloha D – Projekt Eagle (CD) | |
| Příloha E – Projekt AVR Studio (CD) | |

Seznam zkratek

| | |
|-----|-----------------------------------|
| PWM | Pulse width modulation |
| ADC | Analog to digital converter |
| I/O | Input / output |
| V/V | Vstup / výstup |
| DPS | Deska plošných spojů |
| LED | Light emitting diode |
| PSD | Proporcionálně sumačně diferenční |
| USB | Univesral serial bus |
| VDC | Volts of direct current |
| TWI | Two Wire Interface |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 2.1 – Ovládání náklonu tyče..... | 12 |
| Obrázek 2.2 – Model fy Tecquipment | 13 |
| Obrázek 2.3 – Model Shandor Motion Systems | 13 |
| Obrázek 2.4 – A Robotic Ball Balancing Beam | 14 |
| Obrázek 2.5 – Indukční snímač polohy kuličky | 14 |
| Obrázek 2.6 – Model fy Quanser..... | 15 |
| Obrázek 3.1 – Zpětnovazební regulační obvod | 16 |
| Obrázek 3.2 – Zpětnovazební regulační obvod s PSD regulátorem..... | 17 |
| Obrázek 3.3 – Potenciometrické zapojení snímače polohy | 18 |
| Obrázek 3.4 – Závity odporového snímače polohy | 18 |
| Obrázek 4.1 – Blokové schéma systému | 19 |
| Obrázek 4.2 – ATmega8 pouzdro DIP | 20 |
| Obrázek 4.3 – ATmega8 pouzdro TQFP | 20 |
| Obrázek 4.4 – Připojení FT232RL k USB..... | 21 |
| Obrázek 4.5 – SAA-1064..... | 22 |
| Obrázek 4.6 – I ² C sběrnice | 22 |
| Obrázek 4.7 – Nastavení adresy IO SAA –1064 | 23 |
| Obrázek 4.8 – Ovládání čtyř displejů | 23 |
| Obrázek 4.9 – Displej SA56-11GVA..... | 24 |
| Obrázek 4.10 – Standardní značení segmentů | 24 |
| Obrázek 4.11 – Zapojení displeje SA56-11 | 24 |
| Obrázek 4.12 – Modelářský servomotor..... | 25 |
| Obrázek 4.13 – PWM signál..... | 26 |
| Obrázek 5.1 – DPS1 strana součástek | 27 |
| Obrázek 5.2 – Umístění jumperů pro volbu napájení na DPS1 | 28 |
| Obrázek 5.3 – Účel A/D převodníku | 29 |
| Obrázek 5.4 – Funkce paralelního komparačního A/D převodníku | 29 |
| Obrázek 5.5 – Piny mikroprocesoru využité pro příjem spojitého signálu | 30 |
| Obrázek 5.6 – Analogové výstupy..... | 30 |
| Obrázek 5.7 – Obvod pro sériovou komunikaci s PC..... | 31 |
| Obrázek 5.8 – Zapojení komunikačního rozhraní SAA – 1064 | 31 |
| Obrázek 5.9 – Ovládací a signalizační prvky DPS1 | 32 |
| Obrázek 5.10 – DPS2 strana součástek | 33 |
| Obrázek 6.1 – Vývojový diagram..... | 35 |
| Obrázek 6.2 – Program Port Monitor | 36 |
| Obrázek 6.3 – Závislost výstupního napětí snímače na poloze kuličky | 38 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 4.1 – Vybavení ATmega8..... | 20 |
| Tabulka 4.2 – Vlastnosti servomotoru futura fp-s148 | 25 |

1 Úvod

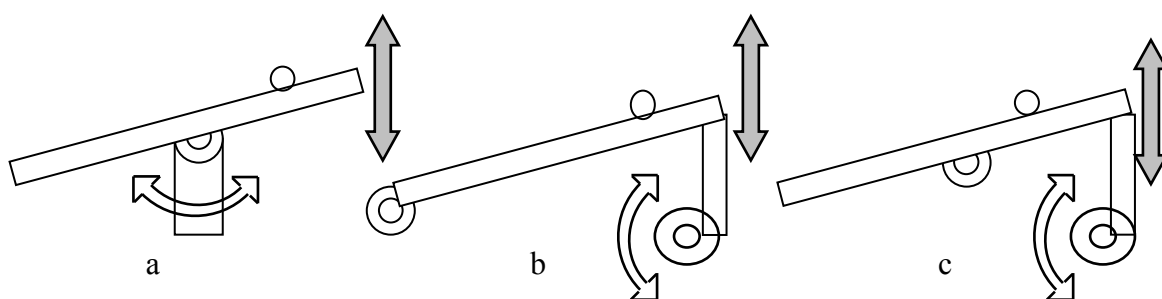
Výukový model Kulička na tyči je určen k demonstraci řízení nestabilního systému druhého řádu použitím diskrétního regulátoru PSD. Model je založen na principu nakloněné roviny, kde změnou náklonu roviny je řízena poloha tělesa. Rovinu tvoří dráha zkonstruovaná ze dvou tyčí, řízeným tělesem je kulička. Náklon dráhy je realizován servomotorem.

Model má přiblížit dynamické děje, jejich modelování a objasnit použití různých druhů regulátorů. Tyto děje se vyskytují v několika odvětví průmyslu, tam kde je potřeba s vysokou přesností a rychlostí regulovat příslušnou veličinu. Příkladem může být regulace teploty jaderného reaktoru, nebo řízení dráhy letu rakety. Dnes přibývá i letadel, především vojenských, které jsou navrženy jako nestabilní z důvodu lepší manévrovatelnosti.

Cílem je navrhnout, vytvořit a implementovat kompletní řídicí elektroniku pro ovládání po mechanické stránce již hotového školního modelu. Dále pak vytvořit program pro ukázkou funkce modelu.

2 Model kulička na tyči

Kulička na tyči je známý model jak u nás, tak i ve světě. Ve většině případů je však kladen důraz především na matematicko-fyzikální popis modelu a výpočty parametrů regulátoru. Z hlediska mechaniky by se daly modely rozdělit do tří skupin, podle způsobu ovládání náklonu tyče zobrazeném na obrázku 2.1. První možností je ovládání pouze jednoho konce ramene (b), přičemž je druhý konec nehybný. V druhém případě je motor umístěn uprostřed a pohybuje tak s oběma konci tyče (a). Ve třetím případě je střed tyče připevněn a rameno ovládané motorem otáčí tyčí kolem osy procházející jejím středem (c). Další součástí (pro tuto práci zásadním) je řídicí elektronika celého systému a použité snímače náklonu a polohy kuličky.



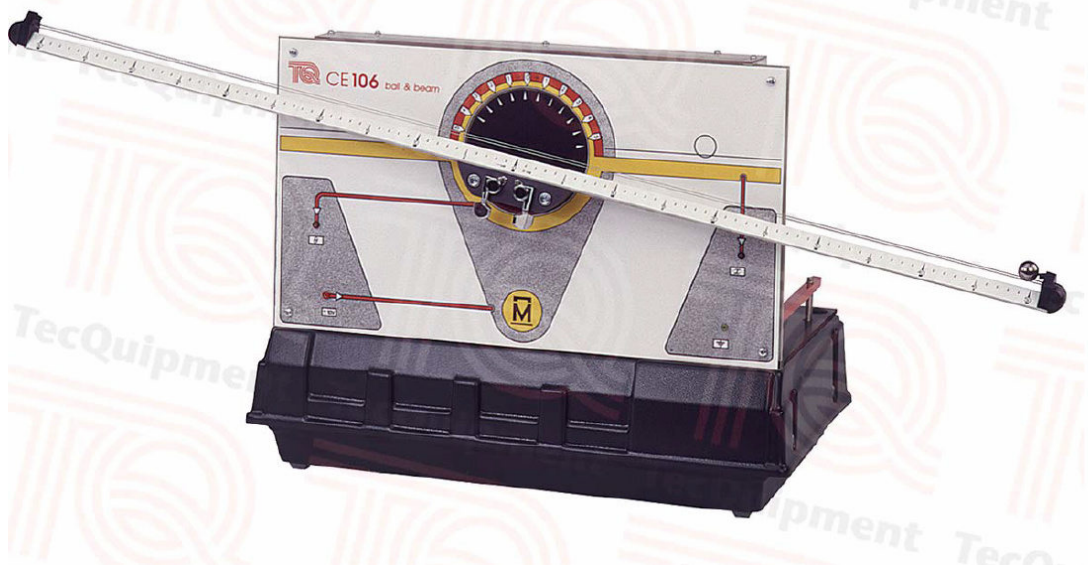
Obrázek 2.1 – Ovládání náklonu tyče

2.1 Podobné modely

Model fy tecquipment

Tento komerční model „BALL AND BEAM APPARATUS (CE106)“ [1] je určen především pro výuku. Má dva analogové výstupy 0 – 10 VDC pro externí měření polohy kuličky a pro úhlu náklonu tyče.

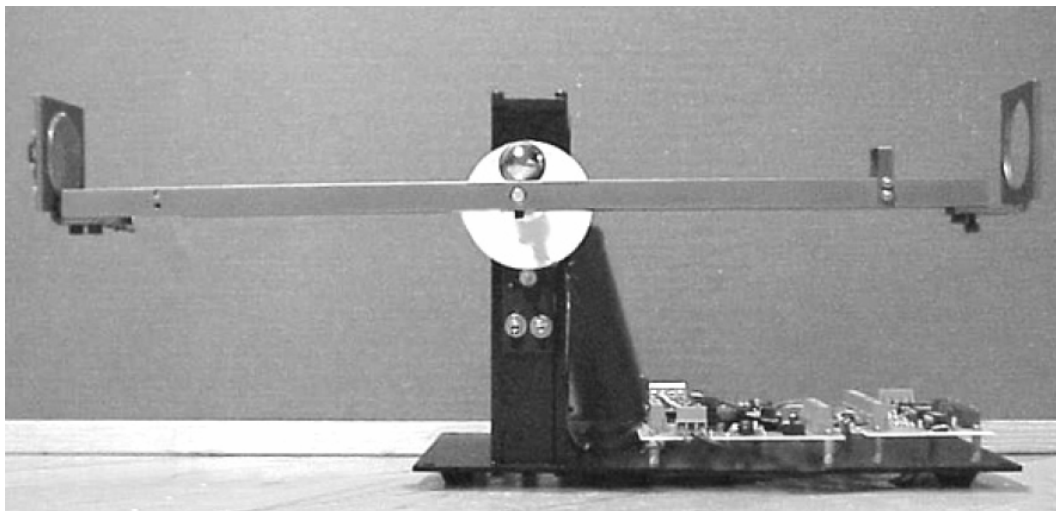
Náklon tyče zajišťuje servomotor se speciálními obvody, tak aby mohl být řízen analogovým signálem v rozsahu 0 – 10 VDC generovaným regulátorem.



Obrázek 2.2 – Model fy Tecquipment [1]

Model vytvořený Shandor Motion Systems

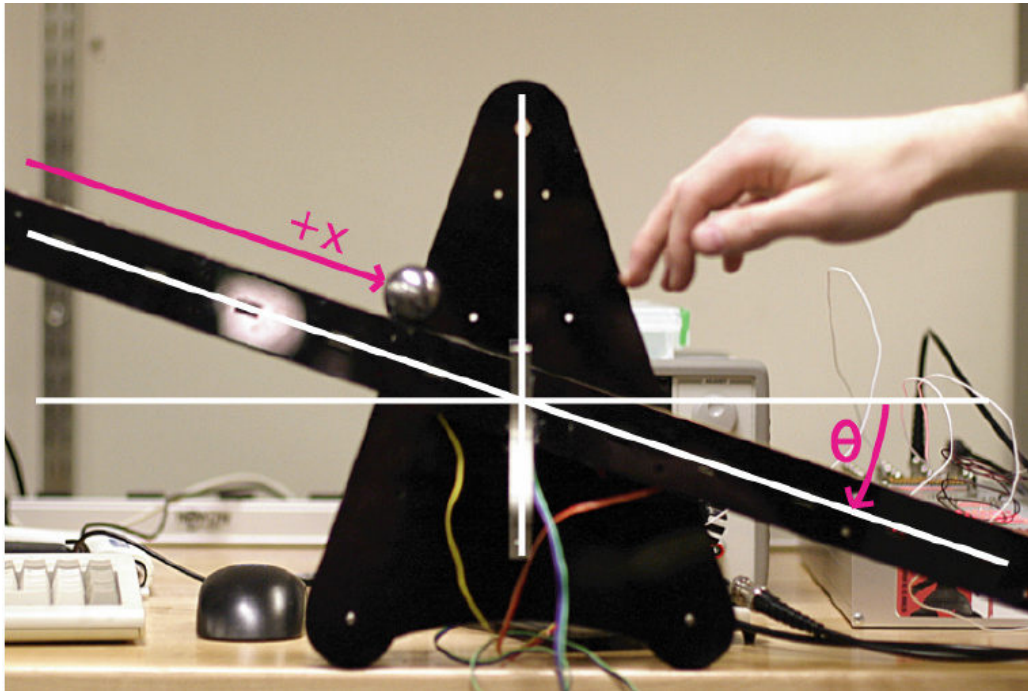
U tohoto modelu z roku 1999 [2] je rovněž náklon dráhy ovládán servomotorem umístěným uprostřed tyče. Jako jeden z mála modelů však disponuje ultrazvukovým snímačem, který měří polohu kuličky.



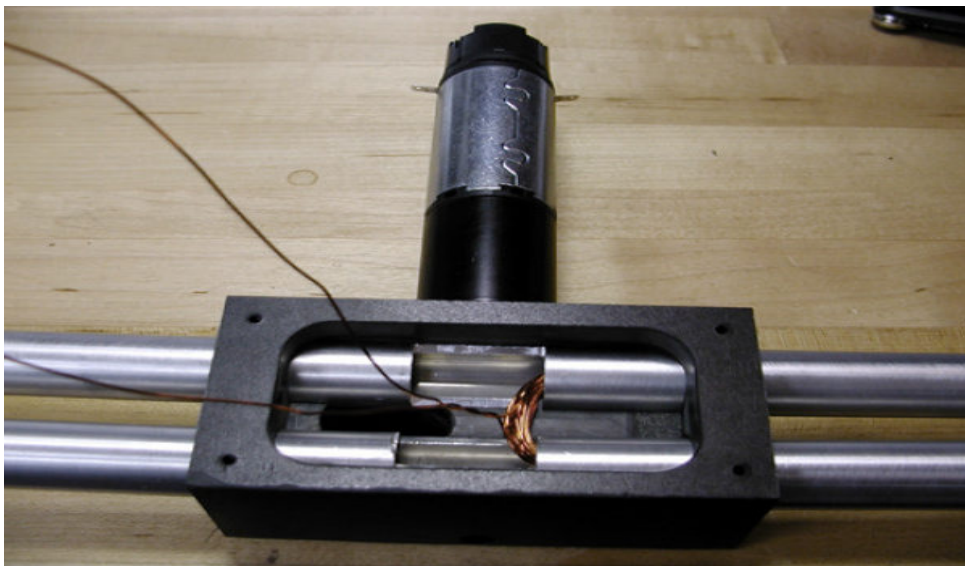
Obrázek 2.3 – Model Shandor Motion Systems [2]

Projekt A Robotic Ball Balancing Beam

Autorem projektu je Jeff Lieberman. Tento model z roku 2004 [3] používá dva senzory, jeden rotační potenciometrický pro měření náklonu ramene a druhý indukční (obrázek 2.5) pro měření polohy kuličky.



Obrázek 2.4 – A Robotic Ball Balancing Beam [3]



Obrázek 2.5 – Indukční snímač polohy kuličky [3]

Model fy Quanser

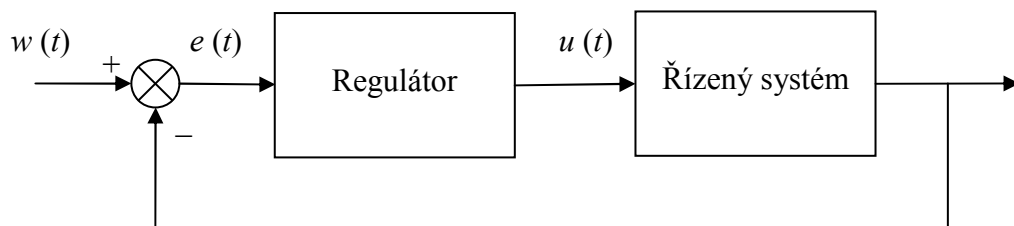
Tento model [4] na obrázku 2.6 je zástupcem modelů, u kterých není servomotor umístěn uprostřed dráhy, ale je mechanicky připevněn k jednomu z konců. Poloha kuličky je měřena potenciometrickým snímačem.



Obrázek 2.6 – Model fy Quanser [4]

3 Zpětnovazební řízení

Řízení systému se zpětnou vazbou zobrazeného na obrázku 3.1 se na rozdíl od přímo vazebního řízení používá tam, kde je potřeba regulovat výstup ze systému. Do řízeného systému tak nevstupuje požadovaná hodnota ale hodnota akčního zásahu, která je vytvořena regulátorem na základě regulační odchylky, ta je rovna rozdílu žádané hodnoty a hodnoty naměřené.



w – řídicí veličina
 e – regulační odchylka
 u – akční veličina
 y – regulovaná veličina

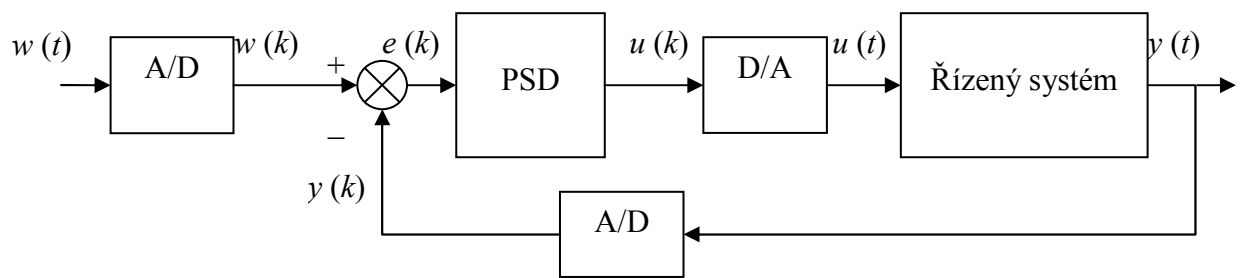
Obrázek 3.1 – Zpětnovazební regulační obvod

3.1 PSD regulátor

Diskrétní regulátor PSD je obdoba analogového PID regulátoru. Stejně jako regulátor PID obsahuje proporcionální složku, další složku jsou jiné, protože diskrétní signál není možné integrovat a derivovat. Tyto dvě složky tedy integrační a derivační jsou nahrazeny složkou sumační resp. diferenční. Regulační obvod pak musí být doplněn o 1 až 2 A/D převodníky (2 pokud je žádaná hodnota spojitá) a 1 D/A převodník (obrázek 3.2). Následující vzorec (3.1) zobrazuje tvar PSD regulátoru v přírůstkovém tvaru.

$$u(k) = q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2) + u(k-1) \quad (3.1)$$

kde u – akční veličina
 q – parametr
 e – regulační odchylka



w – řídicí veličina
 e – regulační odchylka
 u – akční veličina
 y – regulovaná veličina

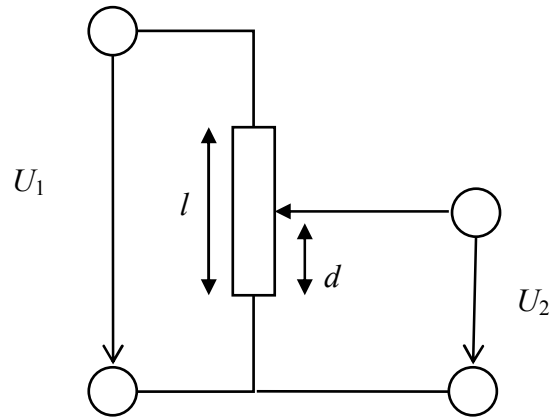
Obrázek 3.2 – Zpětnovazební regulační obvod s PSD regulátorem,,

3.2 Měření polohy

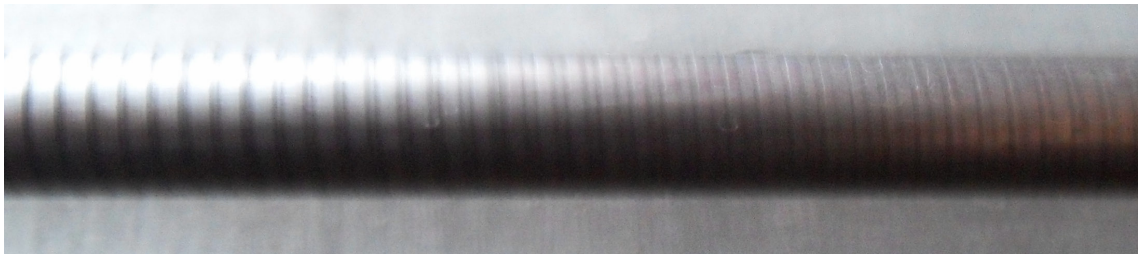
Měření polohy kuličky je zajištěno odporovým snímačem v potenciometrickém zapojení (obrázek 3.3). Dráha dlouhá 500 mm po které se kulička pohybuje je tvořena navinutým odporovým drátem se 400 vzájemně izolovanými závity (obrázek 3.4), ten slouží jako dráha potenciometru, kulička pak funguje jako jezdec potenciometru a změnou její polohy se změní výstupní napětí snímače. Rozlišovací schopnost snímače je pak rovna 1,25 mm, tedy velikosti jednoho závitu. Výstupní napětí U_2 je přímo úměrné poloze jezdce, pro jehož výpočet platí rovnice 3.2.

$$U_2 = \frac{U_1 \cdot d}{l} \quad (3.2)$$

kde U_1 – vstupní napětí
 U_2 – výstupní napětí
 l – délka odporové dráhy
 d – pozice jezdce



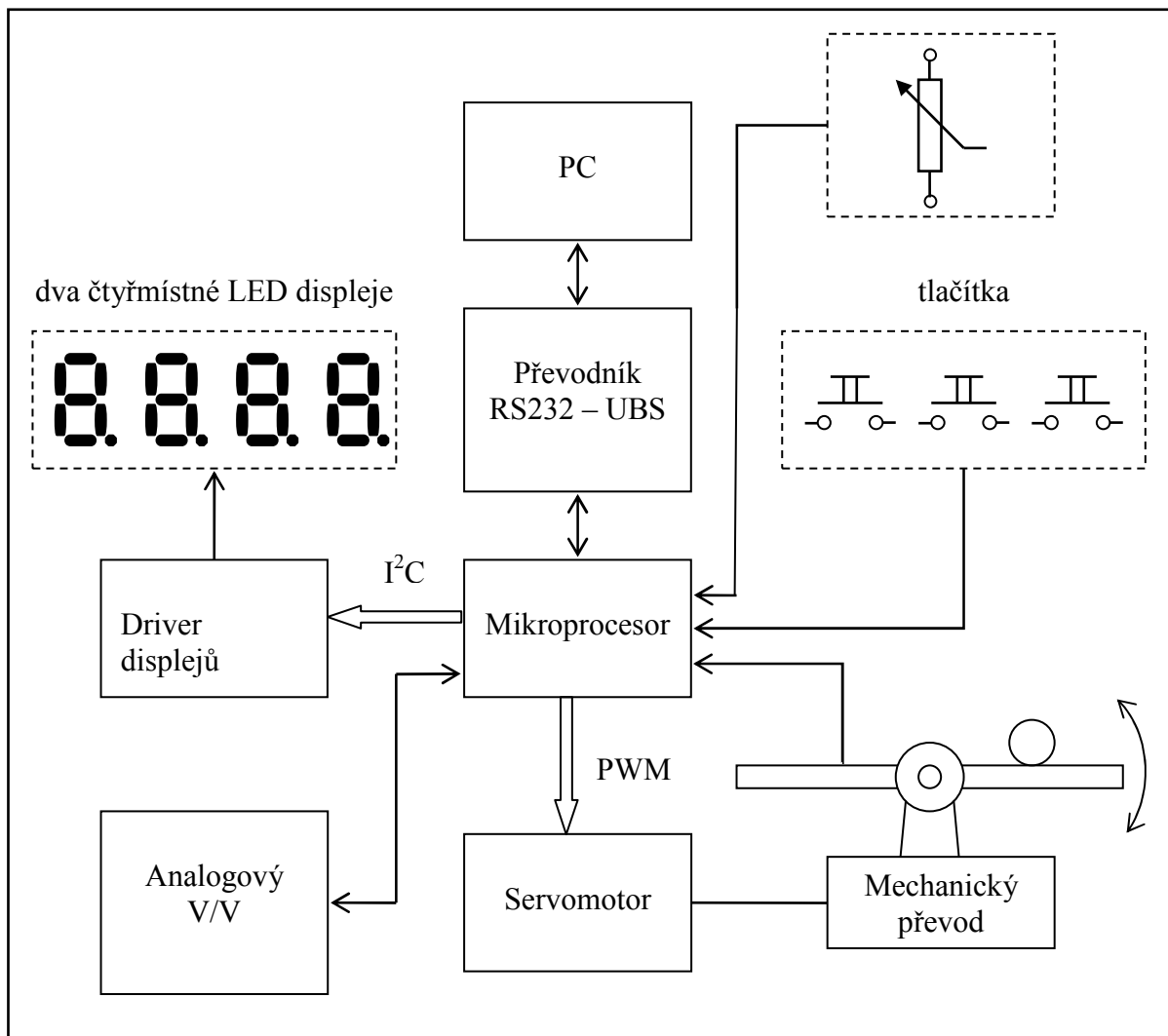
Obrázek 3.3 – Potenciometrické zapojení snímače polohy



Obrázek 3.4 – Závity odporového snímače polohy

4 Řídicí elektronika

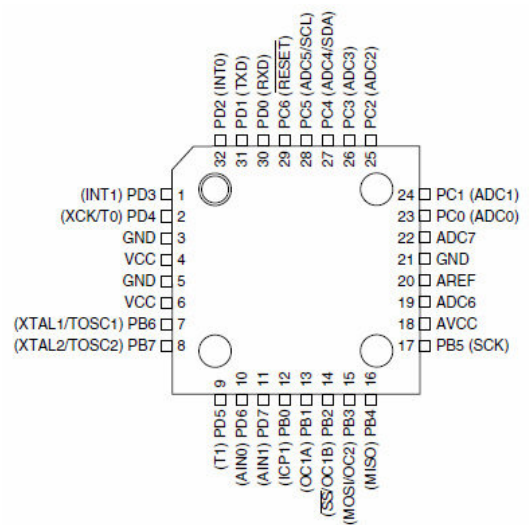
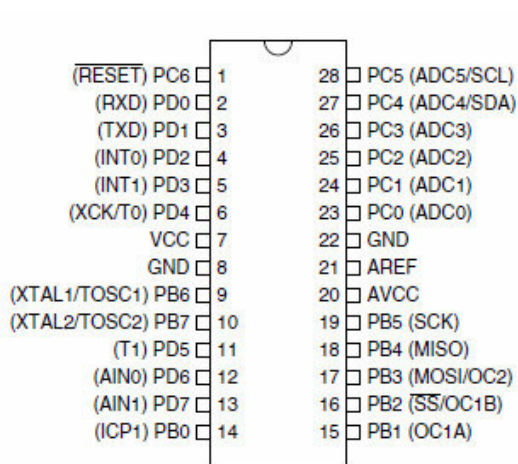
Blokové schéma řídicí elektroniky modelu je zobrazeno na obrázku 4.1. Centrální prvkem řízení je 8 bitový mikroprocesor ATmega8, jehož program řídí všechny ostatní součásti systému. Servomotor pro ovládání náklonu tyče je mikroprocesorem řízen pomocí signálu PWM jehož střída je vypočtena ze žádané polohy a skutečné polohy kuličky pomocí naprogramovaného PSD regulátoru. Pro uživatele systém poskytuje více způsobů ovládání. Přes virtuální sériové rozhraní vytvořené IO FT232RL, které umožňuje jak nastavení parametrů regulátoru tak zadávání žádané polohy kuličky. Pro stejný účel avšak bez použití počítače systém obsahuje tři tlačítka a potenciometr. Pro zobrazení nastavených hodnot a polohy kuličky jsou použity dva čtyřmístné segmentové LED displeje. Zobrazování obstarává dvojice driverů displejů SAA-1064, ta komunikuje s mikroprocesorem pomocí sběrnice I²C. ta komunikuje s mikroprocesorem pomocí sběrnice I²C.



Obrázek 4.1 – Blokové schéma systému

4.1 Mikroprocesor ATmega8

Mikroprocesor ATmega8 je 8bitový procesor architektury RISC pracující na frekvenci 1 – 8 MHz, v případě použití krystalu nebo externího zdroje hodinového signálu může být nastaven na taktovací rychlost až 16MHz. Rozsah napětí, při které procesor pracuje, je 4.5 - 5.5 V. Je programovatelný v jazyce C, nebo přímo v Assembleru. Dále je vybaven 8 kB paměti flash a 512B paměti EEPROM. Výrobce uvádí až 10 000 programovacích cyklů u paměti flash a 100 000 u EEPROM paměti. Procesor má také možnost nahrání zavaděče pro umožnění in-system programování. Vyrábí se ve dvou provedení SMD na obrázku 4.2 i v pouzdře DIP na obrázku 4.3.



Obrázek 4.2 – ATmega8 pouzdro DIP [5] Obrázek 4.3 – ATmega8 pouzdro TQFP [5]

V následující tabulce 4.1 jsou uvedeny další vybrané vlastnosti a obvody mikroprocesoru.

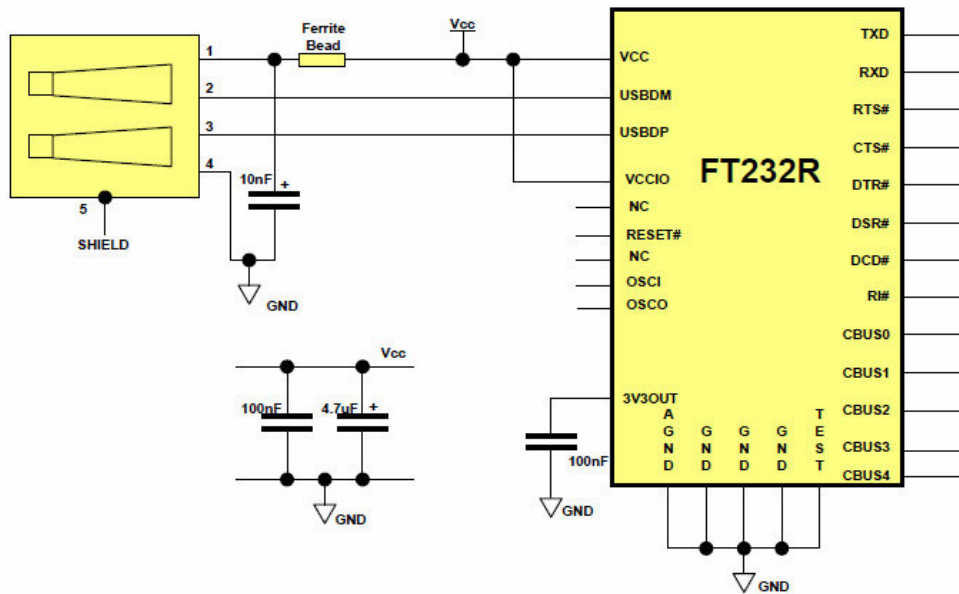
Tabulka 4.1 – Vybavení ATmega8 [5]

| | |
|--|-----------------------|
| 8bitový čítač | 2 |
| 16bitový čítač | 1 |
| 10bitový A/D převodník | 8 (6 v provedení DIP) |
| PWM kanál | 3 |
| programovatelné sériové rozhraní (USART) | 1 |
| analogový komparátor | |
| Programovatelné I/O | 23 |

4.2 IO FT232RL

Hlavní funkce tohoto čipu je převod z USB rozhraní na sériové rozhraní UART. Rychlost přenosu tímto čipem může být 300 baud – 3 Mbaud, tím může nahradit např. rozhraní RS422, RS485, RS232. Kromě pinů pro komunikaci s USB a pinů sériového rozhraní obsahuje několik dalších, ty mohou být konfigurovány pomocí softwaru MProg. Pro tyto konfigurace je čip vybaven pamětí EEPROM o velikosti 1024 bitů, v této paměti jsou uloženy i některá další data jako je například výrobní číslo. Další paměť, kterou čip disponuje, je vyrovnávací paměť o velikosti 128 B pro přijímaná data a 256 B pro data odesílaná.

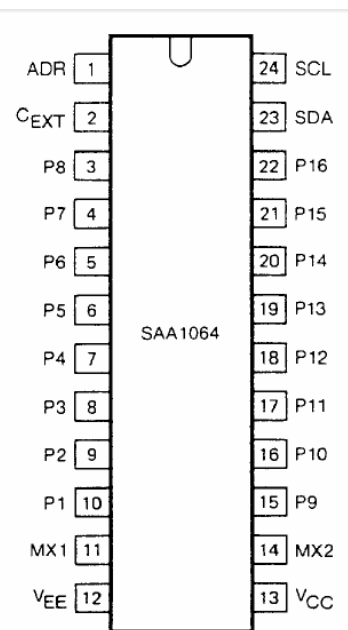
Po připojení čipu podle obrázku 4.4 k USB portu počítače, se v operačním systému Windows Vista a novějších verzích provede automatická instalace a vytvoří se nový virtuální port COM. U starších verzí je nutné ovladače nainstalovat ručně, ty jsou dostupné na stránkách výrobce www.ftdichip.com v sekci support.



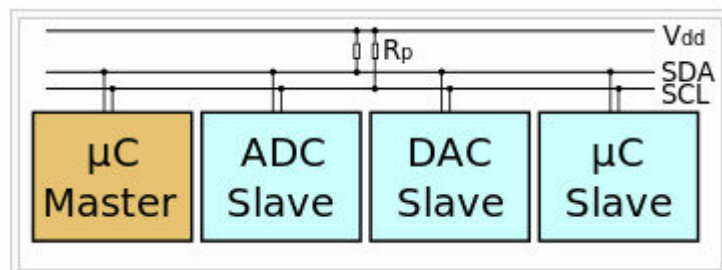
Obrázek 4.4 – Připojení FT232RL k USB [6]

4.3 Driver displeje SAA-1064

Pro řízení displejů jsou použity dva IO SAA-1064 fy Philips (obrázek 4.5). Každý z těchto obvodů může ovládat až 4 sedmi-segmentové displeje. Obvody SAA-1064 komunikují po sběrnici I²C. Tato sběrnice využívá adresování připojených komponent a tím umožňuje připojení více zařízení pomocí pouhých dvou vodičů. Jeden vodič je určený k přenosu hodinového signálu (SCL), druhý pak k sériovému přenosu dat (SDA). Oba vodiče jsou připojeny ke kladnému napětí přes pull-up rezistory (R_p) na obrázku 4.6.



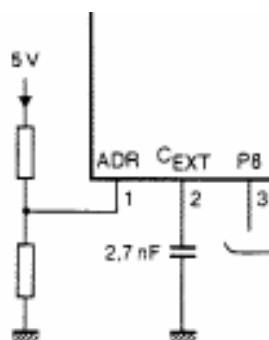
Obrázek 4.5 – SAA-1064 [7]



Obrázek 4.6 – I²C sběrnice [8]

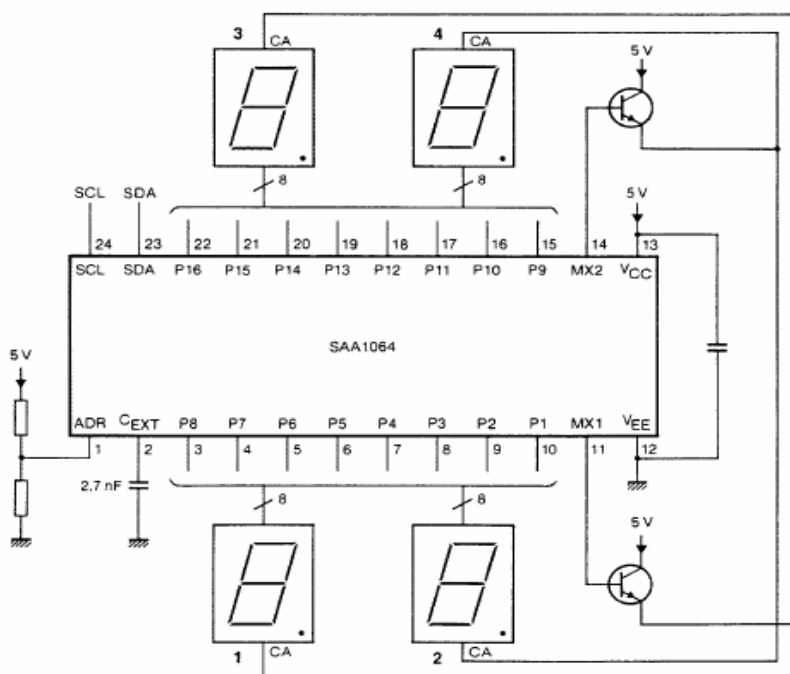
Pomocí adresy zařízení se data přenesou do správného zařízení. V tomto případě je možné na sběrnici připojit čtyři IO SAA-1064 o adresách 0b01110000 až 0b01110110.

Nastavení adresy je znázorněno na obrázku 4.7, děje se tak připojením napětí o různé velikosti pomocí napěťového děliče k pinu ADR. Zvolené napětí může být V_{EE} , $3/8 V_{CC}$, $5/8 V_{CC}$ nebo V_{CC} . V projektu jsou zapojeny dva obvody SAA-1064 jejichž adresní pin (ADR) je připojen k zemi (V_{EE}), tento zobrazuje žádanou polohu kuličky a (V_{CC}), pro zobrazení polohy skutečné.



Obrázek 4.7 – Nastavení adresy IO SAA –1064 [7]

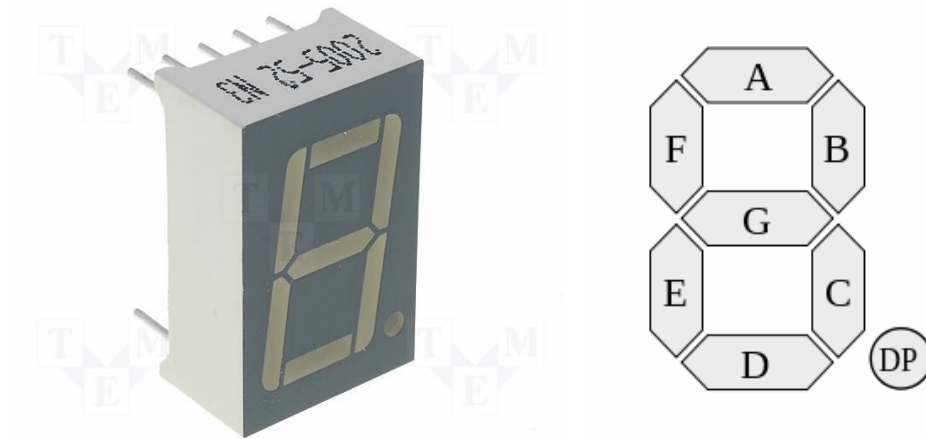
Pro ovládání čtyř segmentových displejů jedním IO (obrázek 4.8) jsou použity dva tranzistory připojené k pinům MX1 a MX2, tím se zajistí střídavé ovládání displejů 1 a 2 resp. 3 a 4.



Obrázek 4.8 – Ovládání čtyř displejů [7]

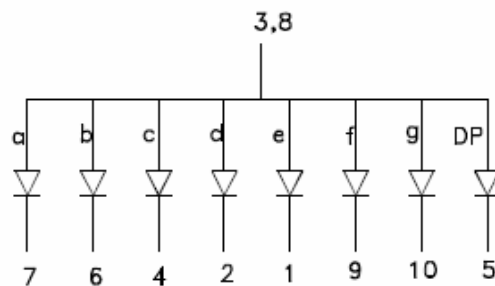
4.3.1 Segmentové led displeje

Použité sedmi-segmentové displeje (obrázek 4.9) nesou označení SA56-11GWA, kde SA značí společnou anodu, číslo 11 velikost v mm a G (green) zelenou barvu.



Obrázek 4.9 – Displej SA56–11GVA [9] Obrázek 4.10 – Standardní značení segmentů

Displeje jsou připojeny k IO SAA–1064 podle zapojení v datasheetu k IO, piny 3 a 8 jsou zapojeny ke kladnému napětí, zapojení jednotlivých segmentů je uvedeno na obrázku 4.11. písmena na obrázku uvedená odpovídají označení na obrázku 4.10. Čísla 1 – 10 na obrázku 4.11 odpovídají pinům P1 – P8 z obrázku 4.8, přičemž se nepočítají piny 3 a 8. Pro další dvojici displejů je zapojení obdobné avšak použité piny jsou P11 – P20.



Obrázek 4.11 – Zapojení displeje SA56–11 [7]

4.4 Modelářský servomotor

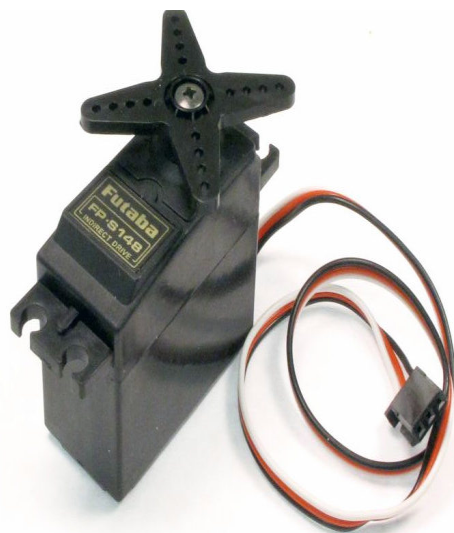
Modelářský servomotor je stejnosměrný motor s převodovkou a řídicími obvody. Je řízen PWM signálem obvykle s frekvencí 50Hz. Řídicím signálem pro servomotor jsou impulsy o délce 1 ms až 2 ms (některé servomotory mohou mít délku řídicích impulsů jiné, např. 0,8 ms až 2,2 ms), které zajistí natočení servomotoru o 0 – 180 stupňů. Pro nastavení do střední polohy (90°) má tedy řídicí impuls délku 1,5 ms.

Servomotor je zapojen třemi vodiči, kde první vodič (červený) je napájecí napětí, druhý (černý), je zem a třetí nejčastěji bílý nebo žlutý je řídicí signál.

Pro servomotor jsou typické parametry: rychlost otáčení, síla, napájecí napětí, hmotnost a rozměry. Parametry použitého servomotoru fp-s148 jsou zobrazeny v následující tabulce.

Tabulka 4.2 – Vlastnosti servomotoru futura fp-s148

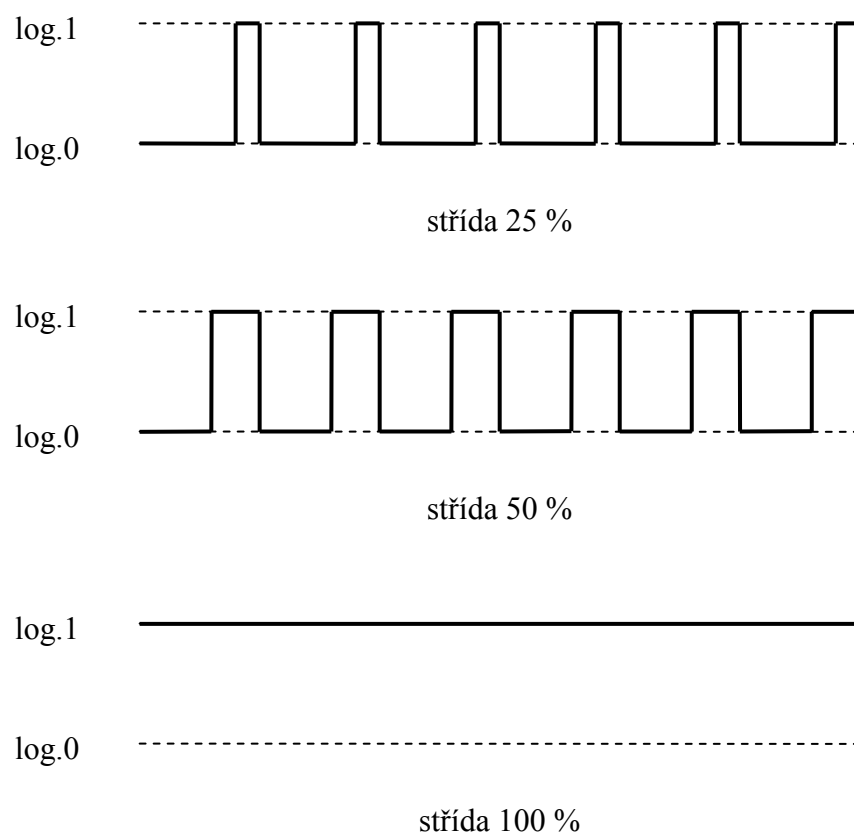
| | | |
|------------------|--------------------|---------|
| rychlost otáčení | 0,21 | Sec/45° |
| síla | 24 | Ncm |
| napájecí napětí | 4,8 - 6 | V |
| hmotnost | 44,4 | g |
| rozměry | 40,4 x 19,8 x 36,0 | mm |



Obrázek 4.12 – Modelářský servomotor [10]

4.4.1 PWM signál

PWM je dvoustavový signál, kde se střídá log 1 a log 0 na pravidelném intervalu. Nositelem informace je právě střída tedy poměr doby kdy se na intervalu vyskytuje log.1 oproti log.0. V případě řízení servomotoru je perioda PWM signálu obvykle 20 ms. Na obrázku 4.13 je zobrazeno 6 period signálu s různou střídou. Pro řízení servomotoru je použité rozmezí signálu v log.1 1 ms – 2 ms, tedy střída PWM signálu 2 – 4 %. Tabulka obsahující naměřené hodnoty střídý PWM signálu pro odpovídající náklon dráhy je v příloze A.



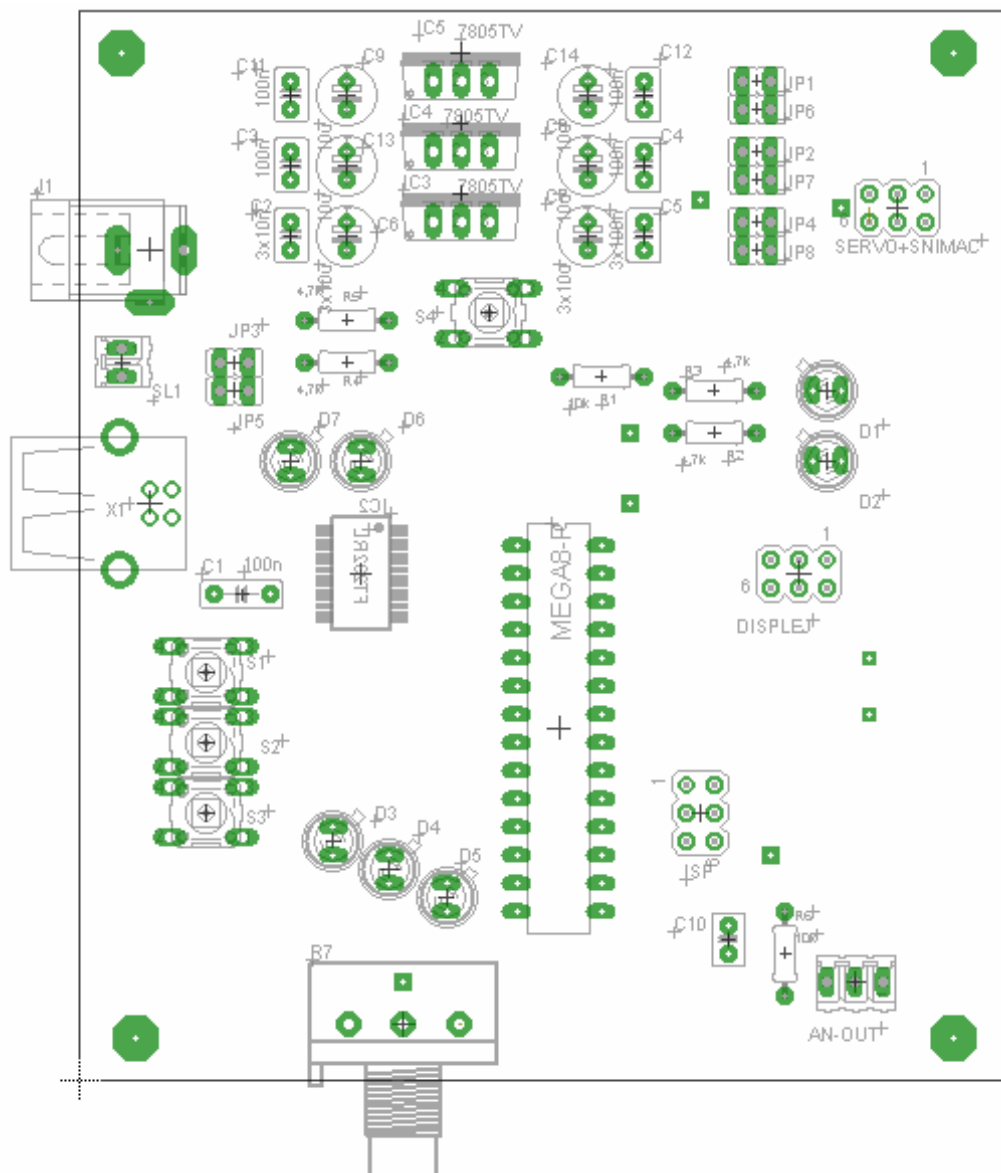
Obrázek 4.13 – PWM signál

5 Návrh schéma zapojení a DPS

Součástky řídicí elektroniky umístěna na dvou deskách plošných spojů označených DPS1 resp. DPS2. Návrh zapojení i rozložení součástek a vodivých cest je vytvořen v programu EAGLE společnosti Cad Soft. Kompletní schéma zapojení obou desek je umístěno v příloze na CD.

5.1 DPS1

DPS1 na obrázku 5.1 obsahuje veškeré obvody např. napájecí, komunikační, ovládací, konektory k ostatním prvkům systému, kromě obvodů řízení displejů a displejů samotných, ty jsou umístěny na DPS2.



Obrázek 5.1 – DPS1 strana součástek

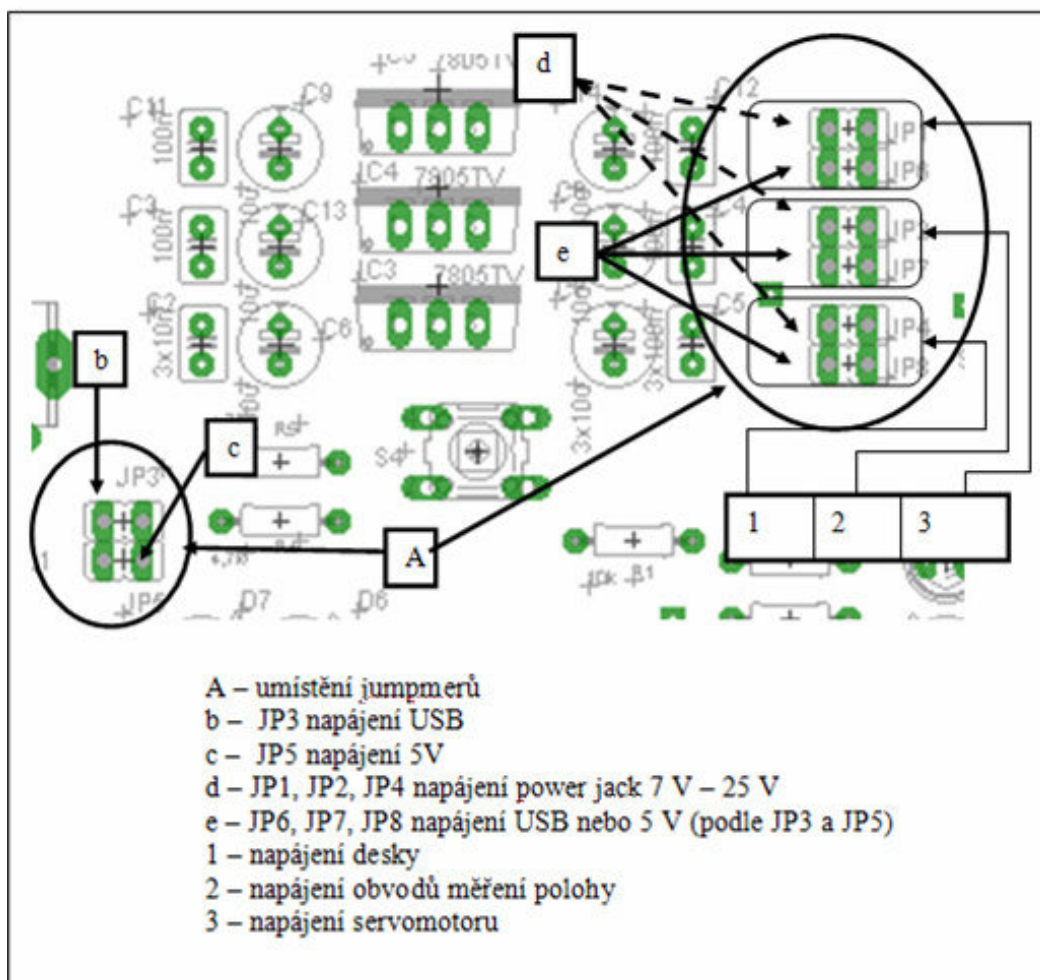
5.1.1 Napájení

Napájení je možné ze třech zdrojů (vždy se jedná o napájení 5 V oddělené pro napájení servomotoru, obvodů měření polohy a napájení DPS), jejich výběr je uskutečněn pomocí jumperů umístěných na desce (obrázek 5.2).

První možností je napájení přes konektor power jack. V takovém případě jsou využity tři stabilizátory napětí LM7805 a přivedené napětí tímto konektorem se musí pohybovat v rozmezí 7 V – 25 V. Výstupní napětí stabilizátoru je 5 V ± 0,2 V.

Druhá možnost je přivedení napětí vodiči na konektor sl1. Tato možnost je zahrnuta pro tvorbu programu a ladění systému autora v domácích podmínkách.

Třetí možnost, pomocí napětí z portu USB. Tato volba však poskytuje příkon o maximální hodnotě 2,5 W a je určena převážně ke komunikaci s mikroprocesorem bez nutnosti použití dalšího zdroje napájení.

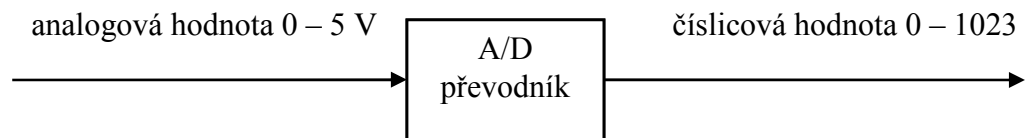


Obrázek 5.2 – Umístění jumperů pro volbu napájení na DPS1

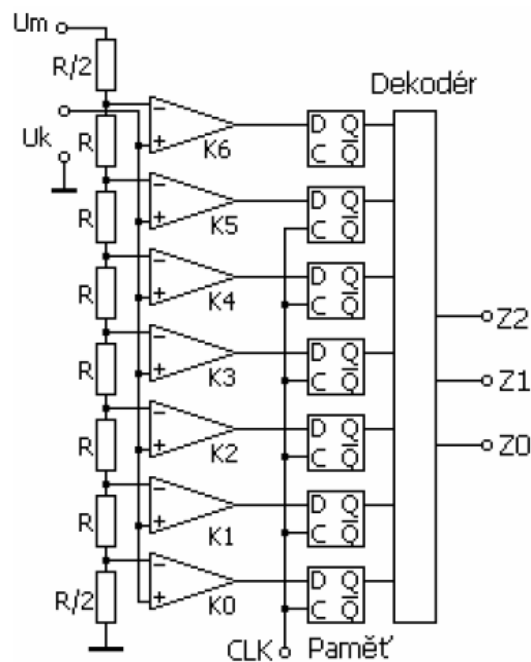
5.1.2 Přenos dat

Přenášené signály se dají rozdělit podle dvou základních vlastností a to spojité / nespojité a vstupní / výstupní.

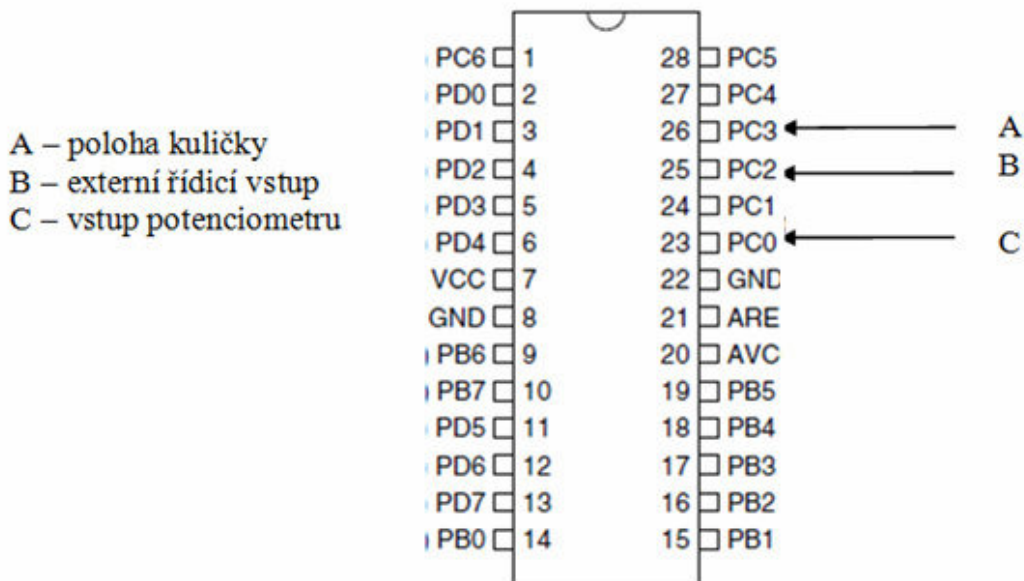
Veškeré spojité vstupní signály jsou přivedeny do 10 bitových komparačních A/D převodníků mikroprocesoru jejichž funkce je znázorněna na obrázku 5.3 a obrázku 5.4. Tyto signály přenáší informaci o poloze kuličky, natočení potenciometru a o velikosti externího analogového řídicího vstupu. Zapojené piny mikroprocesoru pro tyto účely jsou zobrazeny na obrázku 5.5.



Obrázek 5.3 – Účel A/D převodníku

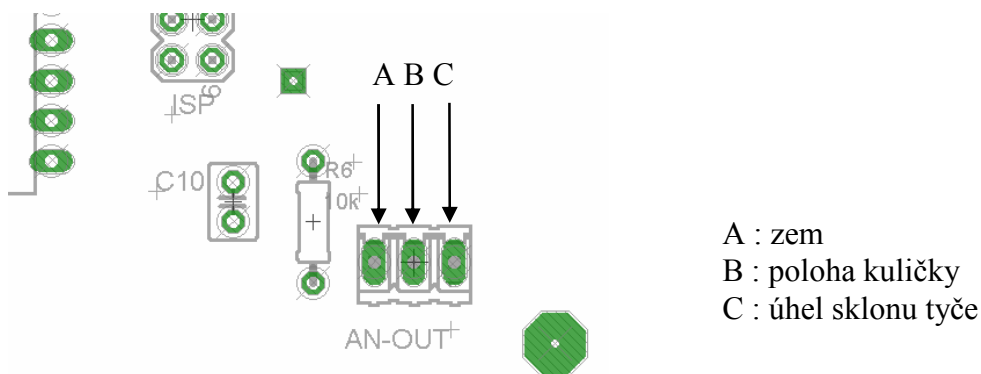


Obrázek 5.4 – Funkce paralelního komparačního A/D převodníku [11]



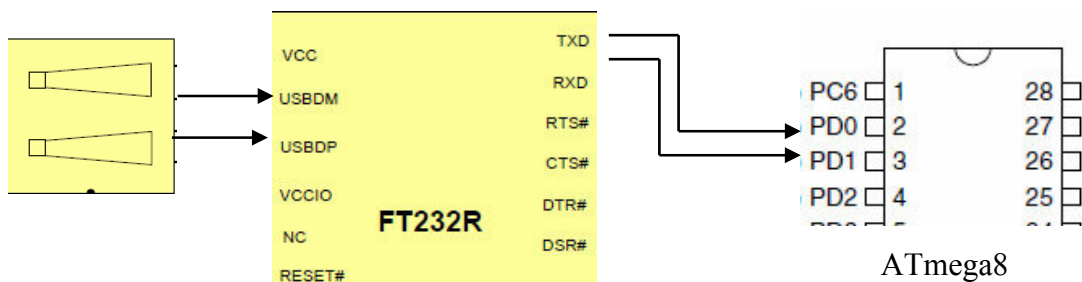
Obrázek 5.5 – Piny mikroprocesoru využité pro příjem spojitého signálu

Výstupní spojitě signály jsou dva. První signál, v rozmezí 0 – 5 V je informace o poloze kuličky a druhý signál je programovatelný výstup PWM, filtrovaný RC článkem v rozmezí 0 – 5 V. Jejich měření je možné na konektoru AN-OUT (viz. obrázek 5.6).



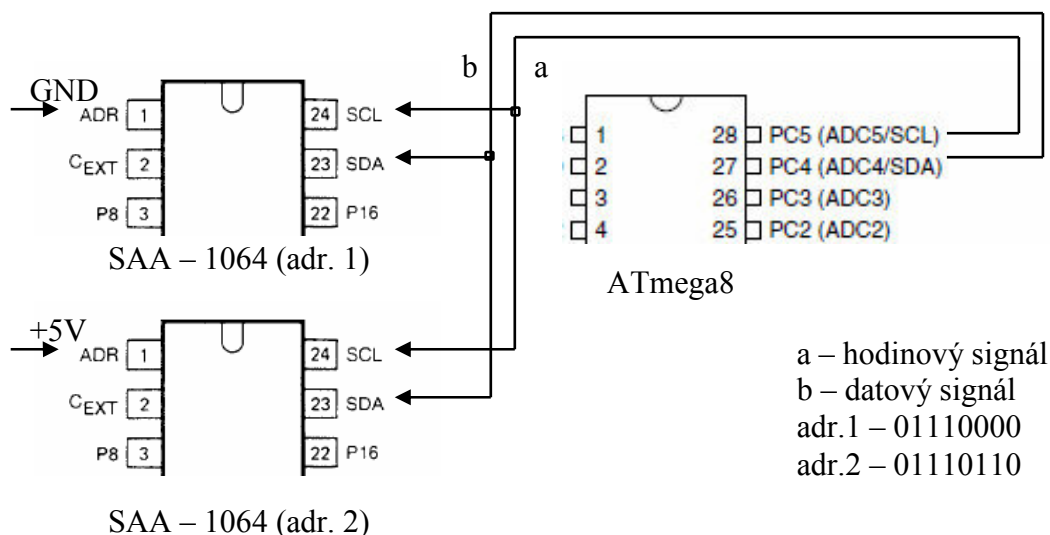
Obrázek 5.6 – Analogové výstupy

Data pro sériovou komunikaci s PC se vedou přes IO FT232RL. Na obrázku 5.7 je zapojení pro přenos těchto dat. Slouží k možnosti nastavení parametrů regulátoru, žádané hodnoty a informace o poloze kuličky.



Obrázek 5.7 – Obvod pro sériovou komunikaci s PC [5][6]

Další diskrétní data vysílaná mikroprocesorem jsou data řídící ovladače displejů SAA-1064 po sběrnici I²C popsané v kapitole 4.3. Na obrázku 5.8 je zobrazeno zapojení pro nastavení adres IO a zapojení datových a hodinových signálů.

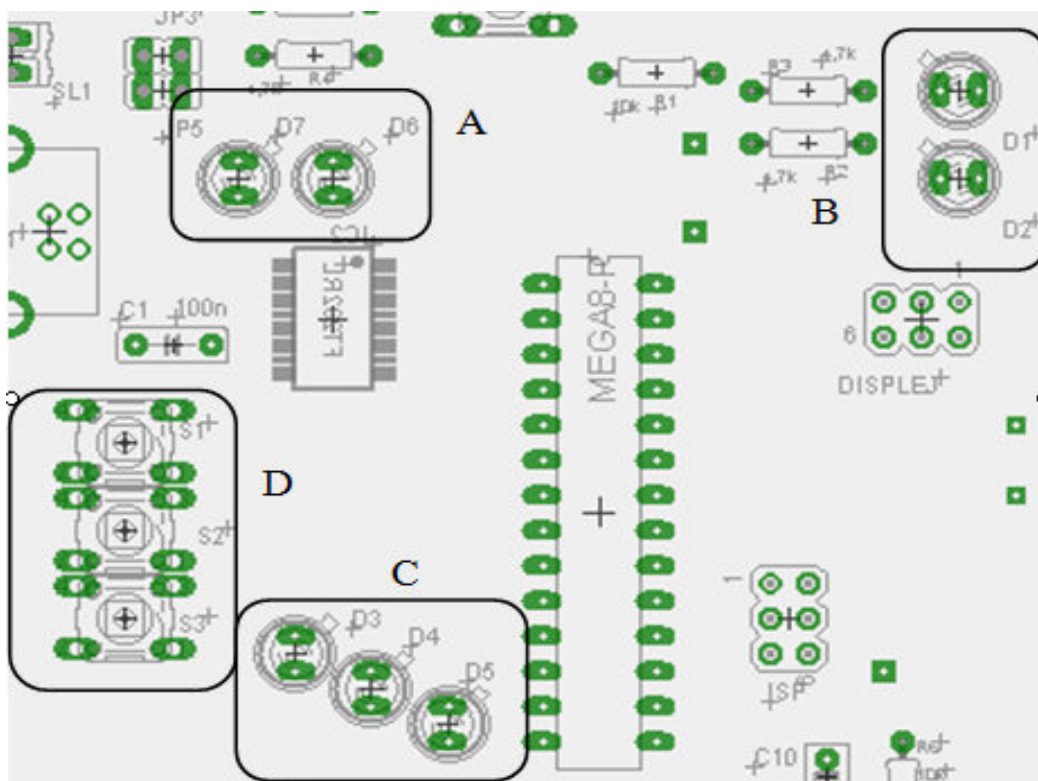


Obrázek 5.8 – Zapojení komunikačního rozhraní SAA – 1064 [5], [7]

5.1.3 Ovládací a signalizační prvky

Na DPS1 je 7 signalizačních diod rozdělených do tří skupin. První skupina s označením „A“ na obrázku 5.9 signalizuje probíhající komunikaci s PC, druhá na obrázku označena „B“ signalizuje probíhající komunikaci po sběrnici I²C, třetí skupina na obrázku označena „C“ indikuje zvolený vstupní řídicí signál. Diody ze skupiny A jsou řízeny softwarově IO FT232RL. Diody ze skupiny B se rozsvítí zároveň s tokem dat, ten je pro ně zároveň zdrojem proudu. Diody ze skupiny C jsou pak připojeny k pinům mikroprocesoru PD5 – PD7 nastavených jako dvoustavové výstupy a jsou řízeny softwarově mikroprocesorem.

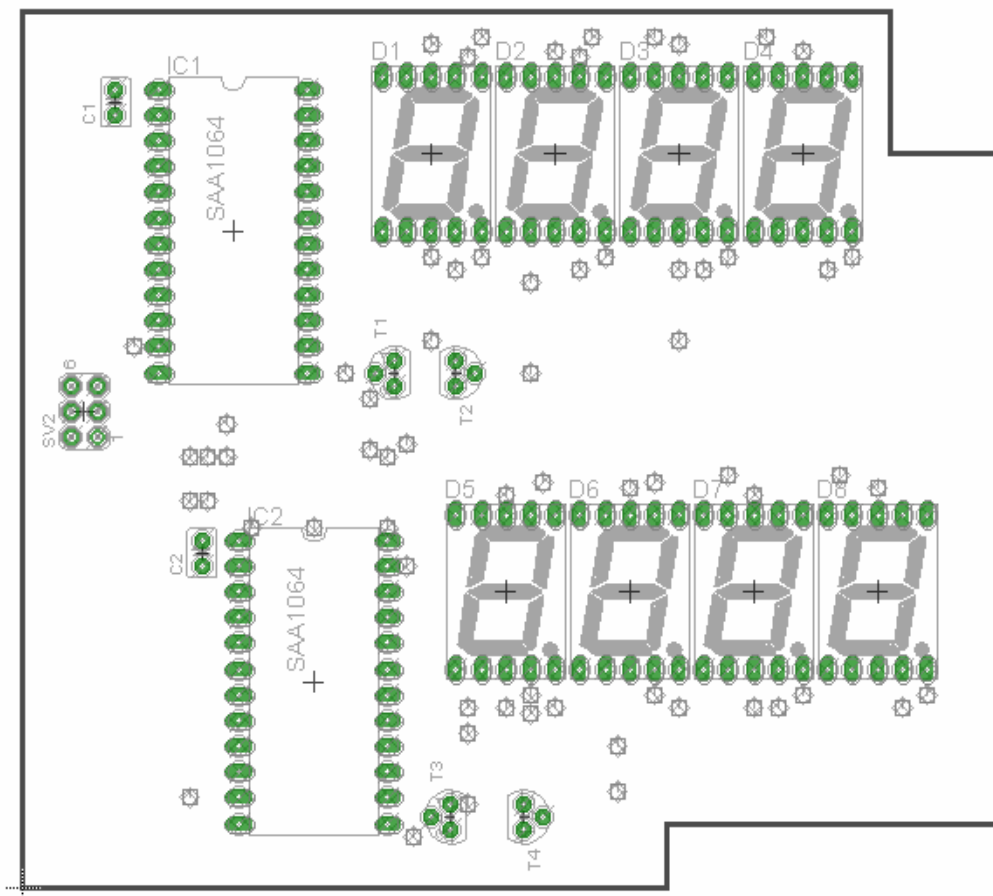
Dále jsou na DPS1 umístěny tři tlačítka (na obrázku 5.9) označeny D, které jsou určeny pro výběr řídicího signálu a nastavení parametrů regulátoru. Jsou připojeny k pinům PD2 – PD4.



Obrázek 5.9 – Ovládací a signalizační prvky DPS1

5.2 DPS2

Druhá deska plošných spojů zobrazena na obrázku 5.10 je určena pro zobrazování skutečné a žádané hodnoty polohy kuličky. Pro tyto účely je deska osazena osmi segmentovými displeji a řadiči displeje SAA-1064 a dalšími prvky pro správný chod popsány v kapitole 4.3. Dále pak 6pinovým konektorem SV2 pro připojení k DPS1.



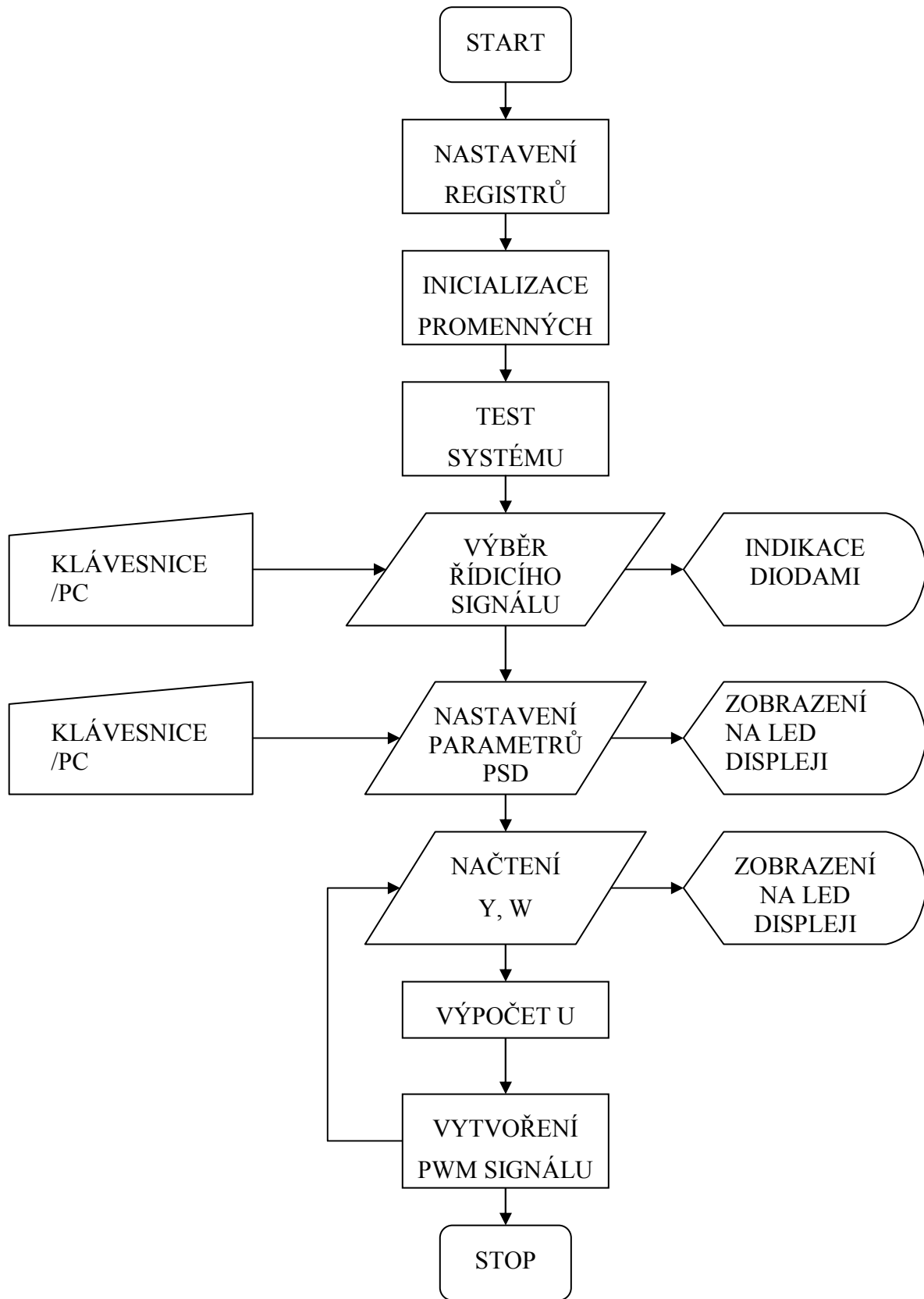
Obrázek 5.10 – DPS2 strana součástek

6 Program

Program mikropočítače je vytvořen v aplikaci AVR Studio 4 v jazyce C pro ATmega 8 při použití interního oscilátoru o frekvenci 8 MHz. Program je vytvořen za pomoci literatury [5], [12], [13], složka se zdrojovými soubory je umístěna v příloze na CD. Zjednodušený vývojový diagram programu je zobrazen na obrázku 6.1.

Po přivedení napájení se v mikroprocesoru nejprve nastaví registry potřebné pro funkci modelu.

```
A/D převodník : ADCSRA |= (1<<ADEN); //povoleni ad prevodniku
PWM signál:     DDRB |= (1 << DDB1); //port B1 nastaven na výstup
                TCCR1A|= (1<<COM1A1) //pocatecni vystup 1, po shode 0
                (1<<WGM11) //fast PWM mod, 8bit
                TCCR2 |= (1<<WGM20)|(1<<WGM21); // OCR2 BOTTOM
                TCCR1B|= |(1<<WGM13)|(1<<WGM12); //TOP ICR1
                |(1<<CS11) // dělička hodin (ckl/8)
Sériové rozhraní: UBRRL = 51; //dělička hodin (rychlost 9600 baud · s-1)
                  UBRRH = (51>>8); // - | | -
                  UCSRC |= (1 << URSEL) //povoleni USART
                  |(1 << UCSZ0) | (1 << UCSZ1) //format dat (8 data
                  bitu, 1 stop bit)
                  UCSRB|= (1 << RXEN) | (1 << TXEN); //povoleni prijmu a
                  odeslani)
TWI:            TWSR = 0x0; //delicka hodin exponent (1)
                TWBR= 0xFF; //dělička hodin zaklad(256)
I/O            PORTD |= 0b00011100; //porty PD2 – PD4 jako vstupni
                DDRD &= 0b11100011; // - | | -
                DDRD |= 0b11100000; // porty PD5 – PD7 jako vystupni
```



Obrázek 6.1 – Vývojový diagram

Následuje deklarace globálních proměnných:

```
Int      rs //zvolený řídicí signál    1 – tlačítka
                                                2 – potenciometr
                                                3 – PC (USB)

w //řidici signal
y[5] //pole namerených hodnot regulovane veliciny
yavg //prumerna hodnota regulovane velicny
ypom //pomocna promenna
e //regulacni odchylka
u //akcni zasah
```

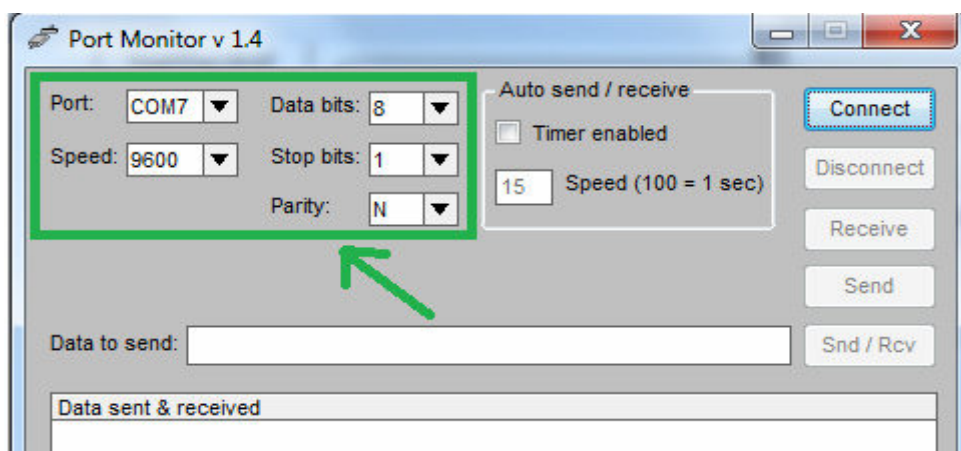
Dále se provedou následující funkce pro test systému:

```
PWM(250);//test PWM signalu (nakloneni tyce do krajni polohy)
```

```
PWM(1450);// – || –
```

```
dysTestDyn();// test komunikace I2C s displeji pomoci TWI
```

Po testu systému se na displeji zobrazí aktuální řídicí signál (hodnota proměnné rs), změna je možná pomocí tlačítek 1 a 2, které proměnnou rs inkrementují, popř. dekrementují. Pro výběr řízení z PC lze zvolit rs = 3, stačí ale poslat libovolná data přes virtuální sériový port např. prostřednictvím freeware programu Port Monitor na obrázku 6.2. Je nutné nastavit formát dat a přenosovou rychlost nejen v programu ale i v operačním systému.



Obrázek 6.2 – Program Port Monitor

Následně se systém uvede do cyklického stavu, nejdříve je měřena hodnota regulované veličiny. Pro vyšší přesnost je měřeno 5 hodnot této veličiny, ty jsou srovnány podle velikosti metodou bubble sort, nejvyšší a nejnižší hodnota je odstraněna a ze zbývajících tří hodnot je vypočítán aritmetický průměr.

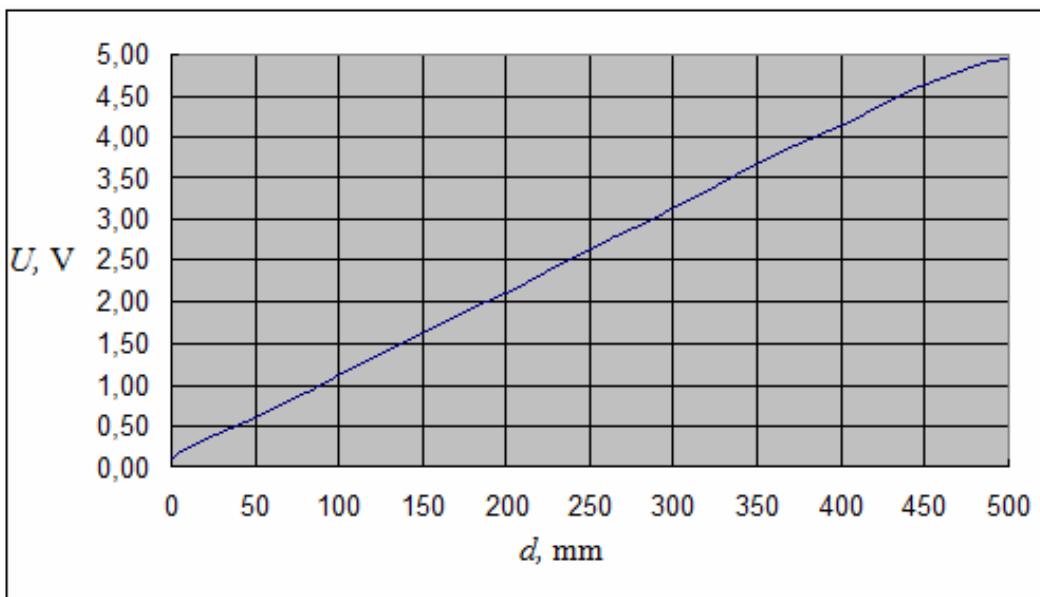
```

for(int i=0;i<5;i++) // cyklus pro odebrání pěti vzorků
{
    y[i] = vemVzorekSkutecna();
    stuj(5); // 5ms
}
for(int j=0;j<5;j++) //bubble sort
{
    for(int i=1;i<6;i++)
    {
        if (y[i]<y[i-1])
        {
            ypom = y[i];
            y[i] = y[i-1];
            y[i-1] = ypom;
        }
    }
}
yavg = y[1]+y[2]+y[3];
yavg /=3 ;

```

V případě zvolení rs=2 je dále volána funkce `w = vemVzorekZadana()`, ta zajistí vzorek řídicí veličiny nastavené pomocí potenciometru, tím je umožněno měnit žádanou hodnotu i v průběhu řízení.

Jelikož rozměry návratové hodnoty poskytované funkcemi `vemVzorekZadana()`; a `vemVzorekSkutecna()`; jsou výsledku A/D převodu v rozmezí 0 – 1023, je jejich velikost aritmeticky upravena tak aby dané hodnoty odpovídaly poloze kuličky v milimetrech. Tomu odpovídají hodnoty -250 – 250, které znázorňují polohu od středu tyče (záporné hodnoty vlevo, kladné vpravo). Na obrázku 6.3 je zobrazeno výstupní napětí snímače polohy v závislosti na poloze kuličky.



Obrázek 6.3 – Závislost výstupního napětí snímače na poloze kuličky

Následně je vypočítána regulační odchylka $e=w-y_{avg}$, ta je vstupním parametrem funkce regulátoru: $u = regulace(e)$ jejíž návratová hodnota je uložena do proměnné u , tedy proměnné obsahující velikost akčního zásahu.

Velikost proměnné u je dále aritmeticky upravena a použita jako řídicí PWM signál servomotoru funkcí $PWM(u)$. Tabulka pro úhel sklony tyče pro odpovídající střidu PWM signálu je v příloze A.

Cyklus je možné přerušit stisknutím tlačítka 3, opět bude požadován výběr řídicího signálu a řídicí veličiny.

7 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a vytvořit řídicí elektroniku pro model Kulička na tyči a vytvořit program pro praktickou ukázkou funkce modelu. Prvním krokem byl výběr součástek. Některé jako servomotor či odporový snímač polohy již model obsahoval. Protože model skýtá možnosti rozšíření do budoucna, např. použití jiných snímačů polohy, či bezdrátové ovládání doporučil bych změnu mikroprocesoru na typ s větší pamětí např. ATmega16 či 32, protože i krátký ukázkový program obsadil více než 75 % 8Kb paměti mikroprocesoru.

Dalším prvkem, který je možné na elektronice vylepšit je způsob změny napájecího zdroje, u tohoto modelu je potřebu při změně zdroje napětí ručně přesunout zkratovací propojky. Změna zdroje z USB na jiný 5V zdroj však může probíhat automaticky, pomocí integrovaného obvodu, tento obvod obsahují například kity Arduino.

Problém nastal při testu modelu, kdy použité menší kuličky neměly dostatečný kontakt s dráhou potenciometru a naměřená poloha se značně lišila od skutečné, to způsobovalo velkou nestabilitu polohy kuličky a tím nepřesnou regulaci, problém však vyřešila větší postříbřená kulička o průměru 20 mm.

Literatura

- [1] TECHNICAL TEACHING EQUIPMENT FOR ENGINEERING. *Ball and Beam Apparatus*. [online]. [cit. 05.duben.2013],
Dostupné z: http://www.tequipment.com/Datasheets/CE106_0413.pdf.
- [2] EDUMECH. Mechatronic Instructional Systems Ball on Beam System. [online]. 1999. [cit. 05.duben.2013],
Dostupné z: http://www.ro.feri.uni-mb.si/predmeti/skup_sem/projekt1/shandor.pdf.
- [3] LIEBERMAN, Jeff. *A ROBOTIC BALL BALANCING BEAM* [online]. 2004. [cit. 05.duben.2013], Dostupné z: <http://bea.st/sight/rbbb/rbbb.pdf>.
- [4] QUANSER. THE ROTARY CONTROL LAB. *A Modular Source Solution You Can Control*. [online]. 2012 [cit. 05.duben.2013],
Dostupné z: <http://www.quanser.com/flippers/Rotary/2012/>.
- [5] ATMEL Corporation. *ATmega8, 8-bit AVR with 8K Bytes In-System Programmable Flash*, Atmel Corporation, San Jose, CA 95131, USA. 2004, 305str.
- [6] FTDI chip. *FT232R USB UART IC Datasheet Version 2.10*, 2010, 43str.
- [8] Wikipedia, volně dostupná webová encyklopedie [online], *I2C from Wikipedia, the free encyclopedia*, Wikimedia Foundation Inc., St. Petersburg,
[cit. 05.duben.2013], dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>.
- [9] KINGBRIGHT. *14.2 mm (0.56 inch) single digit numeric display* [online]. [cit. 05.duben.2013], dostupné z:
http://www.tme.eu/en/Document/41e297049c0efc99c8ccbe5d1257200f/SA_SC_56-11.pdf.
- [10] SOLABORATICS. *FP-S148 Servo* [online]. [cit. 05.duben.2013], dostupné z <https://solarbotics.com/product/36020>.
- [11] Integrovaná střední škola, Kumburská 846, Nová Paka. *Signálové a mezisystémové převodníky*. [online]. [cit 2013-05-02],
dostupné z <http://automatizace-issnp.wz.cz/Soubory/prevodniky.pdf>.
- [12] BURHARD, Mann: *C pro mikrokontroléry*. Praha: BEN – technická literatura, 2003. ISBN 80–7300–077–6.
- [13] HEROUT, Pavel: *Učebnice jazyka C – 1.díl*. České Budějovice: Koop, 2002. ISBN 978–80–7232–383–8.

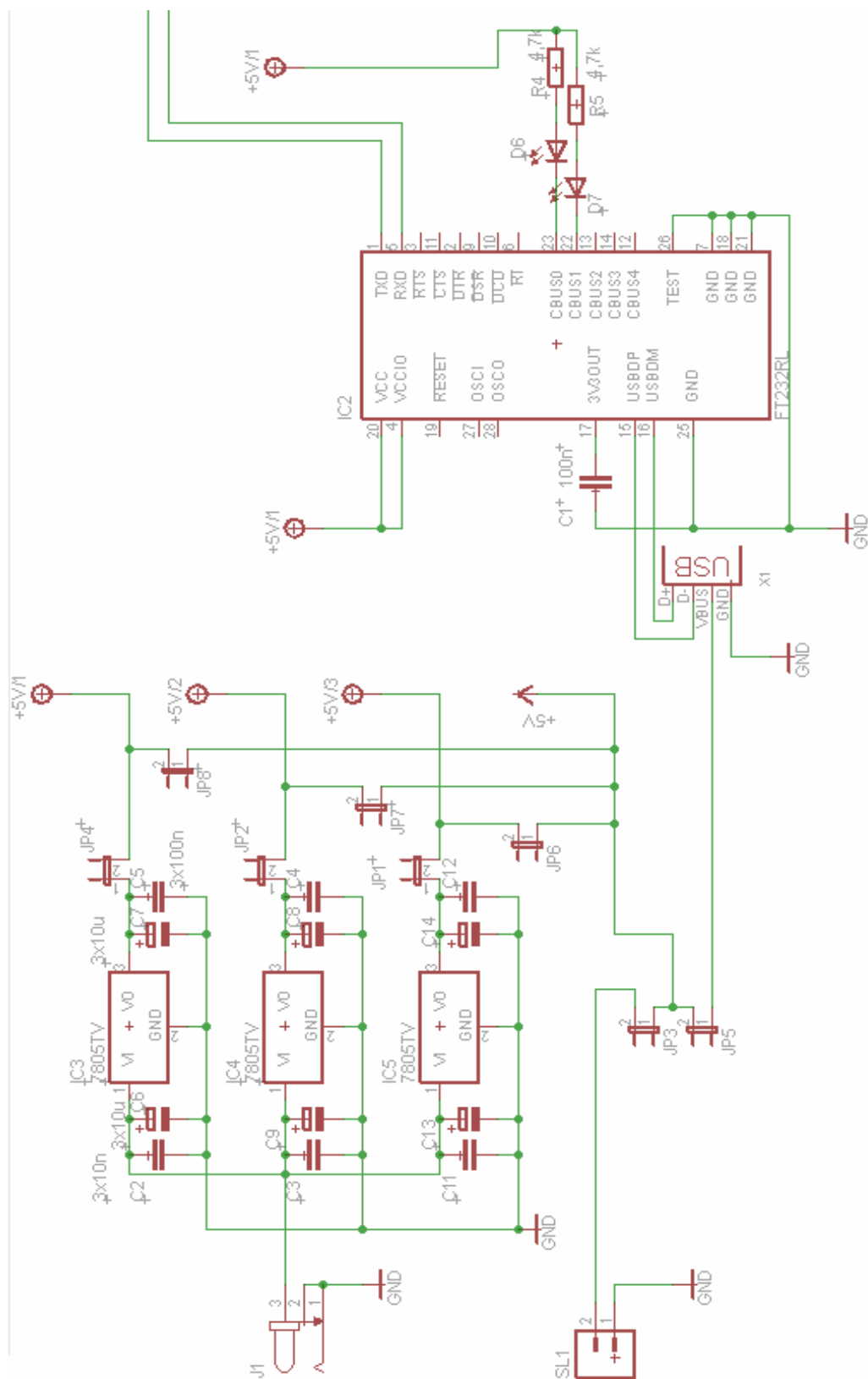
Příloha A – Sklon tyče pro odpovídající střihu PWM

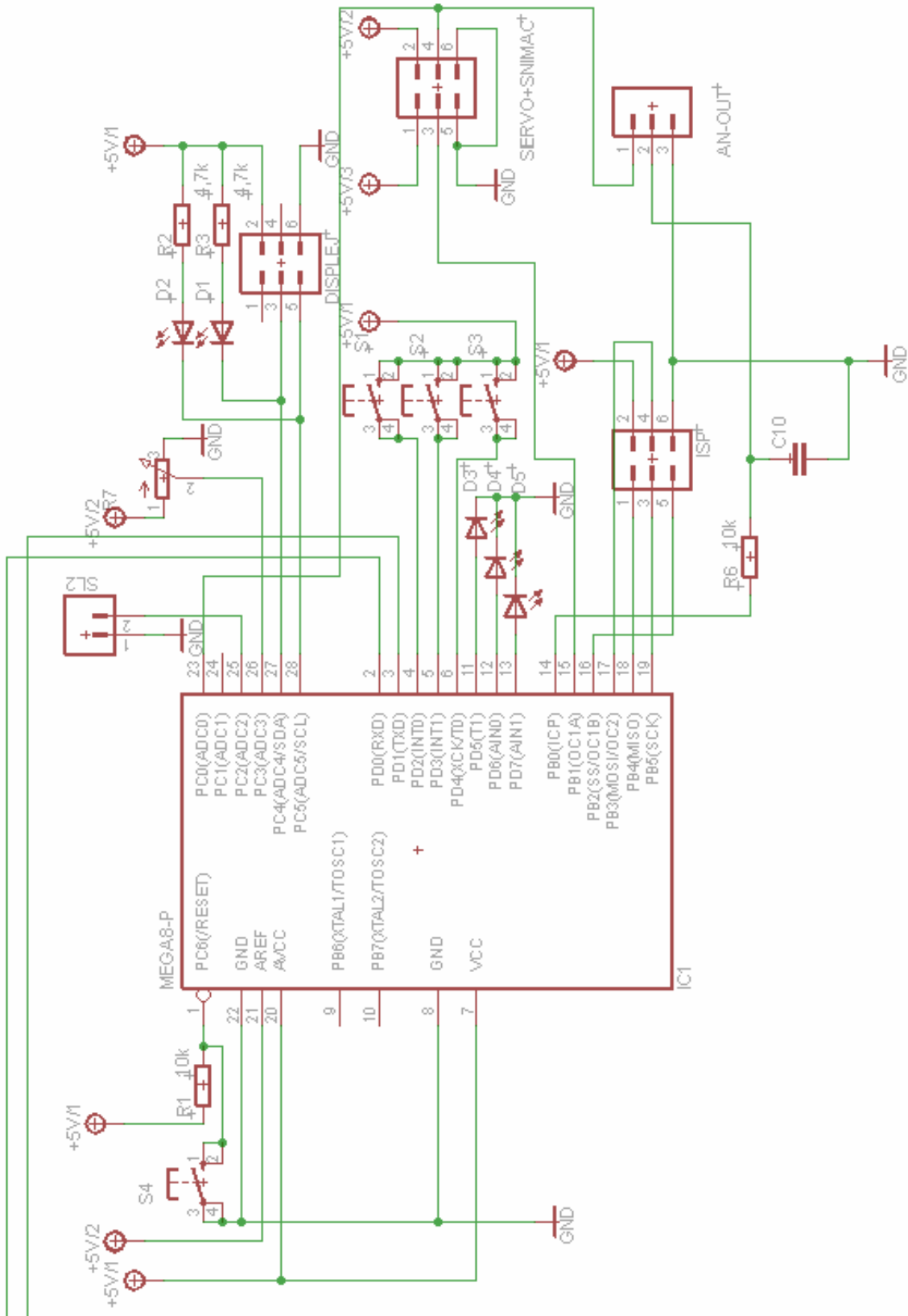
Záporné hodnoty značí náklon vlevo, kladné vpravo.

| úhel sklonu tyče (°) | délka pulsu log1 (ms) |
|----------------------|-----------------------|
| - 8 | 1,02 |
| - 7,5 | 1,08 |
| - 7 | 1,13 |
| - 6,5 | 1,18 |
| - 6 | 1,23 |
| - 5,5 | 1,26 |
| - 5 | 1,28 |
| - 4,5 | 1,31 |
| - 4 | 1,26 |
| - 3,5 | 1,29 |
| - 3 | 1,33 |
| - 2,5 | 1,36 |
| - 2 | 1,4 |
| - 1,5 | 1,43 |
| - 1 | 1,46 |
| - 0,5 | 1,49 |
| 0 | 1,51 |
| 0,5 | 1,54 |
| 1 | 1,57 |
| 1,5 | 1,6 |
| 2 | 1,63 |
| 2,5 | 1,67 |
| 3 | 1,71 |
| 3,5 | 1,76 |
| 4 | 1,8 |
| 4,5 | 1,84 |
| 5 | 1,88 |
| 5,5 | 1,94 |
| 6 | 2 |
| 6,5 | 2,06 |
| 7 | 2,12 |
| 7,5 | 2,17 |
| 8 | 2,23 |

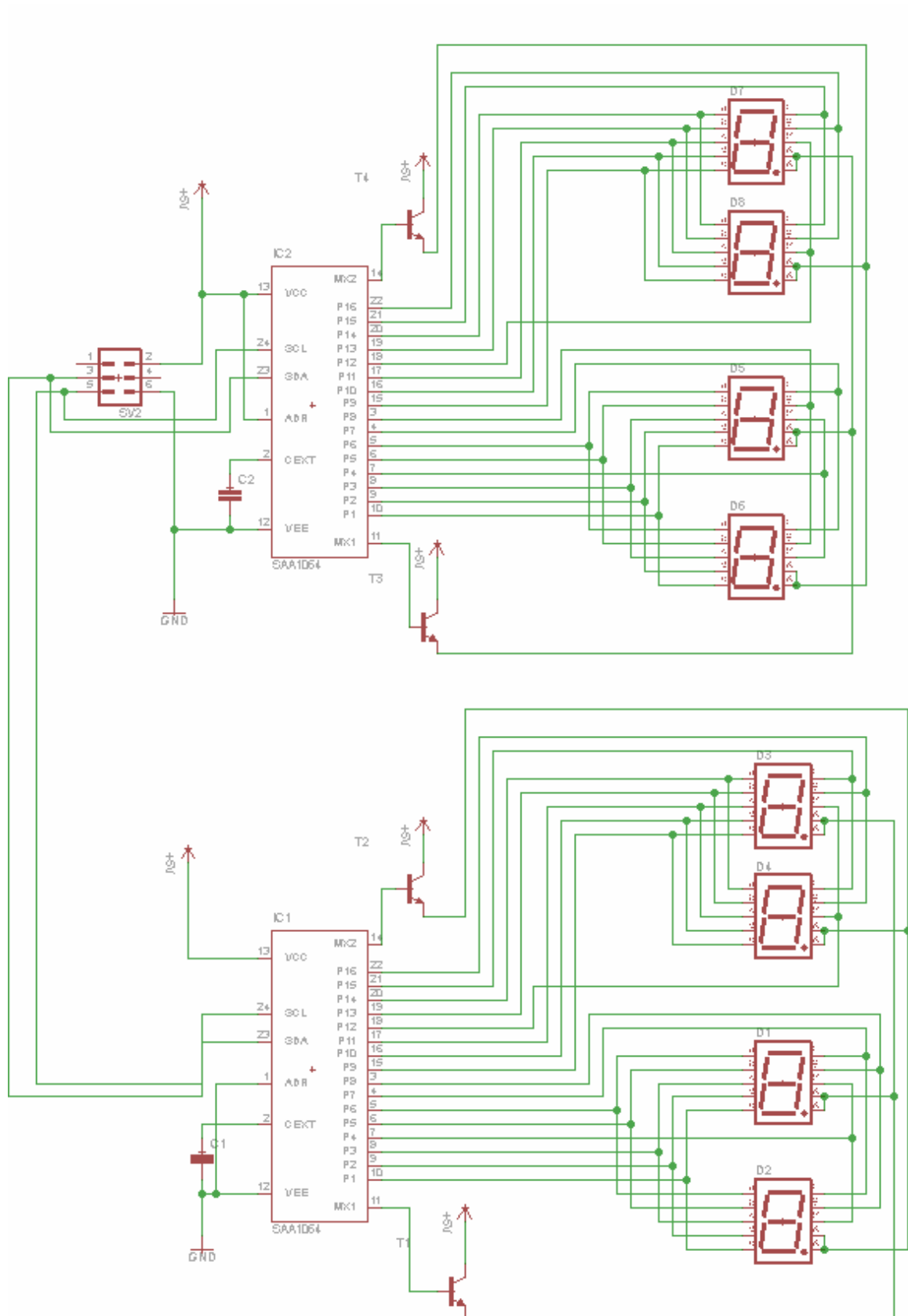
Příloha B – Schéma zapojení

DPS1





DPS2



Příloha C – Seznam součástek

| součástka | hodnota | množství (ks) |
|------------------------------|------------|---------------|
| DPS1 | | |
| power jack 3,5mm | | 1 |
| kondenzátor ker | 100n | 6 |
| kondenzátor ker | 10n | 3 |
| kondenzátor ker | 10u | 6 |
| napěťový stabilizátor 7805CV | 5V | 3 |
| jumper | | 8 |
| rezistor | 4,7k | 4 |
| rezistor | 10k | 2 |
| potenciometr | 10k | 1 |
| LED | červená | 1 |
| LED | zelená | 3 |
| LED | žlutá | 3 |
| konektor MLW | 2x3PIN | 3 |
| konektor MLW | 1x3PIN | 1 |
| IO FT232RL | | 1 |
| ATmega8 – 16PU | | 1 |
| patice úzká | 2x14PIN | 1 |
| tlačítko do DPS | | 4 |
| konektor USB typ A | | 1 |
| DPS2 | | |
| IO SAA-1064 | | 2 |
| LED displej | SA11-56GWA | 4 |
| LED displej | SA11-56EWA | 4 |
| tranzistor NPN | BC 546B | 4 |
| konektor MLW | 2x3PIN | 1 |
| Kondensátor ker | 2,7n | 2 |
| - | | |
| kabel plochý šedý | 6 žil | 2x15cm |
| Konektor na kabel MLW | 2x3PIN | 3 |