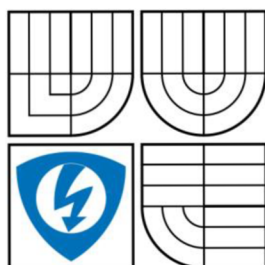


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ELEKTRONICÉ ŘÍZENÍ SERVOMECHANISMU U TRENAŽÉRU

THE ELECTRONIC CONTROL OF SERVOMECHANISM FOR DRIVE-SIMULATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Martin Valouch

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Zbyněk Fedra, Ph.D.

BRNO 2010

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit elektronické řízení polohovacího servomechanismu u řídicího trenažéru. Jako řídicí jednotka byl vybrán 8 bitový mikrokontrolér ATmega16 od firmy ATMEL[®] a pro snímání aktuálního úhlu natočení sedačky magnetický rotační enkodér AS5040 od firmy Austriamicrosystems[®]. Pro vytvoření akčního členu bylo zvoleno můstkové zapojení MOS tranzistorů. Pro jejich buzení byly použity dvě jednotky úrovněových převaděčů a budičů. Ty mají za úkol převést výstupní signál TTL úrovně z mikrokontroléru na napětí o potřebné úrovni pro kvalitní sepnutí tranzistorů. K přenosu dat z počítače trenažéru do mikrokontroléru lze použít rozhraní RS485 nebo RS232.

KLÍČOVÁ SLOVA

Servomechanismus, Trenažér, Mikrokontrolér, Magnetický rotační enkodér.

ABSTRACT

The aim of this bachelor's thesis was construct electronic driving unit of positioning servomechanism in driving simulator. As controlling unit was chosen 8-bit microcontroller ATmega16 produced by ATMEL[®] and for scan actual angle of displacement the seat magnetic rotation encoder AS5040 produced by Austriamicrosystems[®]. For construction of bridge circuit were chosen MOS transistors. This transistors are excited by two Power MOSFET Drivers. Their job is convert output signal TTL logic from microcontroller to voltage in needed norm for transistors circuit closing. Data from PC in drive simulator can be transfer by serial interface RS485 or RS232.

KEYWORDS

Servo unit, Drive simulator, Microcontroller, Magnetic rotation encoder.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE MÉ PRÁCE:

VALOUCH, M. *Elektronické řízení servomechanismu u trenažéru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 39 stran. Vedoucí bakalářské práce Ing. Zbyněk Fedra, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Elektronické řízení servomechanismu u trenážeru jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 28. května 2010

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Zbyňku Fedrovi, Ph.D a konzultantovi bakalářské práce ing. Kamilu Vičarovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mého semestrálního projektu.

V Brně dne 28. května 2010

.....
podpis autora

Obsah

1. Úvod	- 6 -
1.1 Mikrokontrolér	- 6 -
1.2 Magnetický rotační enkodér	- 7 -
2. Návrh zapojení	- 9 -
2.1 Zapojení mikrokontroléru	- 9 -
2.2 Zapojení rotačního magnetického enkodéru	- 10 -
2.3 Vytvoření můstku	- 10 -
2.4 Vytvoření rozhraní pro komunikaci	- 11 -
2.4.1 Rozhraní RS232	- 11 -
2.4.2 Rozhraní RS485	- 11 -
2.5 Vytvoření napájení	- 12 -
2.5.1 Napájecí zdroj	- 12 -
2.5.2 Napájení můstku	- 12 -
2.5.3 Napájení budičů	- 13 -
2.5.4 Napájení mikrokontroléru	- 13 -
3. Vlastnosti zařízení	- 14 -
4. Schéma řídicího programu	- 16 -
5. Realizace servomechanismu	- 17 -
6. Nastavení jednotlivých registrů v programu	- 18 -
6.1 Hlavičkové soubory	- 18 -
6.2 Nastavení A/D převodníku	- 18 -
6.2.1 Registr ADMUX	- 18 -
6.2.2 Registr ADCSRA	- 19 -
6.3 Nastavení PWM signálu	- 20 -
6.3.1 Registr TCCR1A	- 20 -
6.3.2 Registr TCCR1B	- 20 -
6.3.3 Registr TCNT1	- 21 -
6.3.4 Registry OCR1A a OCR1B	- 21 -
6.4 Nastavení USART	- 22 -
6.4.1 Registr UCSRA	- 22 -
6.4.2 Registr UCSRB	- 22 -
6.4.3 Registr UCSRC	- 23 -
6.4.4 Registr UDR	- 24 -
6.4.5 Registr UBRR	- 24 -
6.5 Nastavení čítače/časovače 0	- 25 -
6.5.1 Registr GICR	- 25 -
6.5.2 Registr TCCR0	- 25 -
6.5.3 Registr TIMSK	- 26 -
6.5.4 Registr TCNT0	- 26 -
6.6 Nastavení pinů	- 27 -
6.7 Nastavení funkce LED	- 27 -
6.8 Nastavení funkce Watchdog	- 28 -
6.8.1 Registr WDTCR	- 28 -
6.9 Výstupní data PC trenažéru	- 29 -
7. Popis programu	- 30 -
8. Závěr	- 32 -
9. Literatura	- 34 -
10. Přílohy	- 35 -

1. Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem elektronického řízení servomechanismu u řídicího trenážeru AT-208/VRT firmy JKZ s.r.o., která je zadavatel tohoto tématu. Modernizace spočívá v použití magnetického rotačního enkodéru AS5040 firmy Austriamicrosystems®, který magnetickým způsobem měří úhel natočení autosedačky a také použitím rozhraní RS232 nebo RS485 pro sériovou komunikaci. Servomechanismus má sloužit k naklápění autosedačky a tím bude simulovat chování vozidla při rozjezdu nebo brzdění. Díky tomuto zařízení bude moci student autoškoly lépe poznat skutečné chování automobilu a vyvarovat se začátečnickým chybám při rozjezdu a prudkém brzdění ve skutečném vozidle.

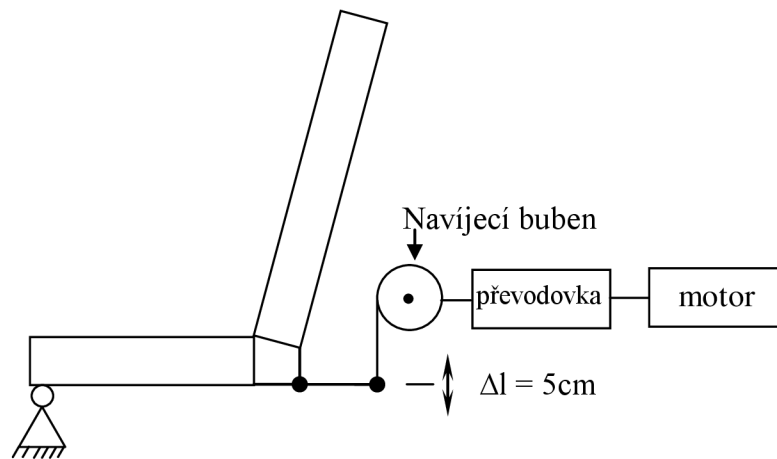
Autosedačka bude připevněna k trenážeru pomocí kyvného ramena, které bude tvořit osu otáčení. Vzadu bude připevněna prostřednictvím ocelového lanka na navíjecí bubnu, který bude lanko navíjet nebo odvíjet v závislosti na směru pohybu. Pro ovládání navíjecího bubnu bude použit stejnosměrný motor a převodovka. Úhel otočení bubnu bude $\pm 150^\circ$, maximální nebo minimální zdvih 5cm, maximální rychlost přestavení 0,5s. Zařízení bude konstruováno pro maximální hmotnost 100 kg.

Servomechanismus je tvořen můstkovým zapojením MOS tranzistorů, který je napájen ze zdroje 24V stejnosměrného napětí a přepětové ochrany tranzistorů. Stejnosměrný elektromotor napájený prostřednictvím můstku bude prostřednictvím převodovky, navíjecího bubnu a ocelového lanka ovládat pohyb autosedačky. Pro rychlé spínání MOS tranzistorů jsou použity dva integrované budiče, které převádí úroveň TTL na napětí vhodné velikosti pro buzení tranzistorů. Jako hardwarová ochrana proti náhodnému sepnutí dvou tranzistorů mimo diagonálu slouží bipolární tranzistory.

Jako řídicí jednotka byl zvolen 8 bitový mikrokontrolér ATmega16. Zdrojový kód byl vytvořen ve vyšším programovacím jazyce typu C a do mikrokontroléru byl zaveden pomocí emulátoru obsahující rozhraní JTAG a ISP. Pro komunikaci s počítačem trenážeru slouží sériové rozhraní RS485 nebo RS232, které mají připravené patice pro převodníky napěťových úrovní a výběr rozhraní se provede vložením příslušného převodníku do patice.

Použitím enkodéru odpadá jakékoliv ošetřování signálů z jiných způsobů snímání polohy. Nad nebo pod tento snímač se do jeho středu umístí dvoupólový magnet, který bude připevněn k hřídeli rotoru použitého motoru pro pohyb autosedačky.

Použitím magnetického rotačního enkodéru AS5040 firmy Austriamicrosystems® dojde ke zjednodušení snímání polohy autosedačky a tím, že se výstupní digitální signál převede pomocí RC článku na analogový dojde k plynulejšímu pohybu scény při cvičné jízdě.



Obr. 1.1 Blokové schéma autosedačky se servomechanismem.

1.1 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér je součástka, která se skládá z centrální řídicí jednotky, paměti RAM a ROM, vstupních a výstupních obvodů, čítač a časovač a mnoho dalších periférií. Obvykle se používají k řízení jednoduchých aplikací. Mezi výhody těchto součástek patří nízké pořizovací náklady vlastní součástky a náklady na výrobu plošného spoje, protože celkové zapojení obsahuje méně součástek. S menším množstvím součástek také vzrůstá spolehlivost celkového obvodu. Mikrokontrolér je napájen malým napětím a má nízkou spotřebu. Změnit funkci, rozšířit funkci nebo jakkoliv změnit funkci zapojení lze provést přeprogramováním a není nutné zasahovat do hardwarového zapojení. Program mikrokontroléru lze vytvořit buď v jazyku symbolických adres (Assembler) nebo pomocí vyšších programovacích jazyků, kdy je nejčastěji použit jazyk C.

V mikroprocesorové technice existují dvě základní hardwarové architektury Von Neumannova a Harvardská. Von Neumannova architektura používá jen jednu paměť, která je společná pro program a data. Využívá sekvenční vykonávání programu, kdy instrukce jsou prováděny postupně za sebou jak jsou zapsány ve zdrojovém kódu. Změna ve vykonávání instrukcí se může provést pouze podmíněným skokem, nepodmíněným skokem nebo zavoláním podprogramu. Program nemůže využívat paralelní vykonávání a tento fakt má za následek nevýhodnou optimalizaci výkonu systému, protože je vždy zatížena jen jedna část vnitřní struktury. Paměť se skládá ze stejně velkých buněk a pořadová čísla těchto buněk slouží jako identifikační adresy.

Harvardská struktura se liší od Von Neumannovy oddělenou pamětí pro program a data. Díky tomu se mohou použít paměti různých technologií jako E²PROM, Flash a pomocí datové a adresové sběrnice je umožněn současný přístup do programové a datové paměti. Instrukce jsou vykonávány postupně za sebou jak jsou napsány, ale paralelní zpracování je prováděno jen na úrovni operačního systému.

Další dělení procesorů může být podle instrukční sady. Existují procesory CISC, RISC a VLIW. Procesory CISC obsahují velké množství instrukcí, ale ty vykonávají stejné operace jen s malými změnami a proto je zbytečné mít mnoho instrukcí, protože množství instrukcí rozšiřuje řadič procesoru a tím dojde k hardwarové složitosti. Statistika ukazuje, že nejčastější instrukce jsou používány pro načítání z paměti, podmíněný skok a zápis do paměti.

Procesory RISC obsahují malý počet instrukcí a vznikly z procesorů CISC kvůli optimálnímu využití instrukčního souboru. Obsahují také malý počet způsobů adresování, mohou využívat zřetěžené zpracování instrukcí a pomocí jednotného formátu je urychleno jejich dekódování. Ve skutečnosti existuje jen určitý kompromis mezi procesory RISC a CISC.

U procesorů VLIW je díky paralelnímu zpracování instrukcí dosaženo efektivnějšího vykonávání programu. Paralelní zpracování je tvořeno díky velkému počtu jednotek, které mohou pracovat současně nebo každá zvlášť. Mají určené funkce pro aritmetické operace, bitové operace, komunikaci s pamětí a další.

Jako řídicí jednotka modernizovaného servomechanismu byl vybrán mikrokontrolér ATmega16. Byl vybrán protože pro funkci servomechanismu je zapotřebí A/D převodník pro převod analogového signálu z enkodéru a při odladování i z potenciometru. A/D převod může být až 10 bitový a také lze volit rychlost a tím i přesnost převodu. Dále pro sériovou komunikaci tento mikrokontrolér obsahuje jednotku USART. Tato jednotka umožňuje synchronní a asynchronní přenos dat, současně přijímat a vysílat data, zvolit přenosovou rychlost, šířku vysílaných nebo přijatých dat lze volit od 9 do 5 bitů, může být použita lichá nebo sudá parita a 1 nebo 2 stop bity. Výstupní signál může být PWM a může být ve více módech, které se liší různými korekcemi a bitovou délkou. Obsahuje také 3 čítače/časovače, které jsou 8 nebo 16 bitové. Pro programování a odladování obsahuje rozhraní JTAG. Napájecí napětí je od 4,5V do 5,5V a frekvence oscilátoru až 16MHz. Obsahuje také dostatečné paměťové místo pro program servomechanismu a dostatečný počet vstupně/výstupních pinů.

1.2 Magnetický rotační enkodér

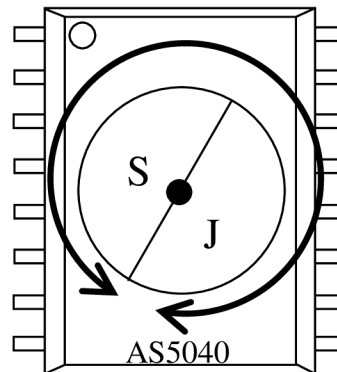
Ke snímání aktuálního úhlu natočení může být využito mnoho způsobů. Může být použit potenciometr, jehož jezdec je spojen se sedačkou a jejím pohybem se hýbe i jezdec potenciometru a mění napětí v závislosti na směru a velikosti naklonění. Nevýhodou použití potenciometru je vznikající šum a opotřebení kontaktu mezi jezdcem a odporovou dráhou. Dále může být využito kapacitního snímání za použití rozdílového kondenzátoru. Tento kondenzátor je tvořen dvěma pevnými elektrodami a jednou pohyblivou, která je spojena s autosedačkou. Při naklonění sedačky se zvýší kapacita u jednoho kondenzátoru a vzroste u druhého. Může být také využito vzájemné indukčnosti dvou cívek, kdy jedna cívka je pevně zabudovaná a druhá, pohyblivá, je spojena s autosedačkou. Pohybem autosedačky a následným pohybem cívky se mění napětí na pevné cívce.

Pro tento projekt byl vybrán enkodér od firmy Austriamicrosystems®. Podle datasheetu [2] umožňuje bezkontaktní snímání úhlu natočení od 0 do 360° pomocí integrovaných Hallových sond, které vyhodnocují změny magnetického pole magnetu. Tyto Hallové sondy jsou umístěny kolem středu snímače a vytvářejí napěťové vyjádření magnetického pole nad snímačem. Umístění magnetu do středu snímače slouží k dosažení největší linearitě výstupního signálu. Pomocí algoritmu na zpracování signálu poskytuje snímač absolutní informaci o úhlu natočení ve vysokém rozlišení 0,35° což je 1024 pozic na oběh 360°. Naprogramováním čipu si uživatel může zvolit nulovou pozici, inkrementální informaci o úhlu natočení a vyjádření okamžité úhlové pozice magnetu 10, 9, 8 nebo 7 bity. Fázový výstup enkodéru slouží k ovládní jednopólových a dvoupólových bezkomutátorových motorů. Umožňuje i použití několika těchto obvodů v zapojení zvaném daisy chain. Je určen pro systémy s 3,3V i 5V napájením. Výstupní signál může být ve formě PWM signálu nebo jako sériové rozhraní.

Výstupní sériový signál při absolutním čítání úhlu natočení je tvořen 10 bity, ve kterých je udána informace o úhlu natočení. Dále následuje 5 bitů systémových informací a bit sudé parity. Systémové bity jsou tvořeny bity OCF, COF, LIN, MagINC, MagDEC. Bit OCF indikuje konec vyrovnání offsetu v úrovni logické 1. Bit COF indikuje přetečení koordinačního rotačního digitálního čítače, který počítá úhel natočení a amplitudu signálu z Hallových sond. Bit LIN je alarm linearitě, který indikuje kritický lineární výstupní signál. Bity MagINC a MagDEC indikují pohyb použitého magnetu od nebo k povrchu čipu.

Výstupní signál může být v podobě PWM nebo jako sériové rozhraní. U signálu v podobě PWM je úhel natočení určen poměrem mezi dobou trvání impulzu ve vysoké úrovni a dobou trvání impulzu v nízké úrovni. Frekvence PWM signálu je 1kHz. Analogový výstupní signál lze vytvořit průměrováním PWM signálu pomocí vnějšího filtru. V tomto případě úhlu natočení 0° odpovídá napětí 0V a 360° odpovídá 5V.

Na přání zadávající firmy JKZ s.r.o. nebude tento čip programován a výstupní signál bude spojitý, vytvořen z PWM modulovaného signálu pomocí jednoduchého RC článku. Kdyby tomu tak nebylo, mohlo by docházet ke kmitání autosedačky při cvičné jízdě vlivem vysoké citlivosti použitého snímače a také je zabezpečena plynulá změna scény při jízdě.



Obr. 1.2 Schématické znázornění umístění magnetu nad enkodér AS5040

2.Návrh zapojení

2.1 Zapojení mikrokontroléru

Vybraný mikrokontrolér v smd provedení je zapojen podle doporučeného zapojení z datasheetu [1]. Napájecí napětí je zvoleno 5V a pro jeho stabilizaci byl zvolen keramický kondenzátor C1 o velikosti 100nF [1]. Napájecí napětí je přivedeno na vstupy označené VCC podle [1]. Vstup AVCC je napájecí pin pro bránu A a analogově/digitální převodník. Při použití převodníku musí být připojen k napájecímu napětí přes filtr dolní propusti, ten je tvořen cívkou TL-EC24 o velikosti 330uH a kondenzátorem C5 o velikosti 100nF. Jako externí zdroj hodinového signálu byl zvolen krystal o frekvenci 14,7456MHz, který je zapojen mezi vstupy XTAL1 a XTAL2 podle [1]. Dle doporučení datasheetu [1] byly zvoleny dva keramické kondenzátory o velikosti 100nF k blokování krystalu. Velikost frekvence krystalu je zvolena kvůli bezchybné sériové komunikaci dle informací z [1]. Podle [1] při této frekvenci a normálním módu přenosové rychlosti je maximální rychlost 921,6kbps pro chybu přenosu 0,0%. Vstup AREF je referenční vstup pro A/D převodník pomocí keramického kondenzátoru C6 o velikosti 100nF je externě odpojen a odrušen. Vstupy AGND a GND jsou spojeny a přivedeny na zem napájecího zdroje [1]. K vytvoření resetovací funkce po zapnutí mikrokontroléru byl použit keramický kondenzátor C2 o velikosti 100nF, který je zapojen na zem napájecího zdroje a rezistor o velikosti 10k Ω zapojený mezi kondenzátor a napájecí napětí. Ihned po přivedení napájecího napětí se začne nabíjet kondenzátor C2 a tím je vytvořena nízká úroveň pro resetování mikrokontroléru. Další možností jak resetovat mikrokontrolér je použití přidaného resetovacího tlačítka RESET a pomocí programové funkce watchdog.

Pro potřeby odladování programu byl zvolen pin PA7, který je vstupem pro vnitřní analogově/ digitální převodník. Na něj je možno připojit zkušební potenciometr pomocí konektoru PSH02 – 03P. Pro odfiltrování rušivých signálů je použit jednoduchý RC filtr typu dolní propust složený z rezistoru R26 a C7. Velikost odporu rezistoru je 1 k Ω a kondenzátor má velikost kapacity 100nF. Pro přivedení spojitého signálu z magnetického rotačního enkodéru je použit konektor PSH02 – 03P a k odfiltrování rušivých signálů je použit jednoduchý RC filtr typu dolní propust tvořený rezistorem R2 o velikosti 1k Ω a kondenzátorem C8 o kapacitě 100nF a signál je přiveden na vstup analogově/ digitálního převodníku, tj. na pin PA0. Pro signalizaci rizikového stavu a poruchy jsou zvoleny dvě LED diody barvy oranžové a červené a jako ochranné byly zvoleny dva rezistory R6 a R7 o velikosti 1k Ω . Kvůli malému ztrátovému výkonu mikrokontroléru jsou LED diody zapojeny anodou na napájecí napětí 5V a mikrokontrolér funguje jako spínač katody na zem napájecího zdroje. Pro možnost změny nebo úpravy funkce byla zvolena dvě tlačítka a dva konektory PSH02 – 02P. K odstranění zakmitávání tlačítek jsou použity keramické kondenzátory C26, C27 o velikosti 100nF.

Pro ovládání spínání tranzistorů v můstku byly zvoleny piny PD4, PD5 a PC0,PC1. Na piny PD4 a PD5 jsou připojeny vstupní piny výkonových budičů TC429, které jsou použity pro rychlé spínání MOS tranzistorů T2 a T4. Na piny PC0 a PC1 jsou připojeny pomocné obvody pro tranzistory T1 a T3. Jako hardwarová ochrana proti náhodnému sepnutí dvou tranzistorů mimo diagonálu můstku byly zvoleny bipolární NPN tranzistory v zapojení se společným emitorem. Pokud bude přiveden signál na tranzistory T1 a T4, tak tranzistor Q1 má kladné napětí na bázi, je pólován propustně a jeho přechod kolektor – editor je otevřen. Když v tomto okamžiku se na pinu PD4 objeví napětí nízké úrovně, výkonový budič TC429 toto napětí převede do vysoké úrovně a prostřednictvím otevřeného bipolárního tranzistoru Q1 je ihned svedeno na zem. Stejně pracuje i druhý ochranný bipolární tranzistor Q2.

K proudovému omezení bazového proudu je výstupní napětí z pinů PC0 a PC1 přivedeno na bázi bipolárních tranzistorů přes rezistory R12, R13 o velikosti odporu 4,7kΩ.

Pro potřeby programování mikrokontroléru bylo zvoleno sériové rozhraní JTAG a sériové programování ISP, která jsou přivedena k mikrokontroléru z PC pomocí konektoru MLW10. Rozhraní JTAG je připojeno podle [1] na bránu C, konkrétně na piny TDI, TDO, TMS a TCK. Pin jménem TDI je vstup sériových dat rozhraní JTAG, která jsou přesunuta do registru instrukcí nebo dat, TDO je výstup sériových dat rozhraní JTAG, která jsou přesunuta z registru instrukcí nebo dat. TMS je určen pro výběr dat rozhraní JTAG a TCK synchronizuje operace rozhraní JTAG s hodinovým signálem kontroléru. Pro sériové programování jsou dle [1] vyčleněny piny SCK, MOSI, MISO na bráně B. Pin SCK je hodinový výstup pro zařízení typu Master a hodinový vstup pro zařízení typu Slave, pin MISO je vstup dat pro Master a výstup dat pro Slave, pin MOSI je výstup dat pro Master a vstup dat pro Slave. Směr přenosu je určen aktivováním sériového programování SPI jako Master nebo Slave.

Pro komunikaci s nadřazeným PC trenažéru je použita jednotka USART a použity datové registry přijímače RxD a vysílače TxD mikrokontroléru dle [1]. Komunikace bude probíhat v asynchronním módu. K úpravě vstupního signálu na signál o vhodné úrovni pro mikrokontrolér jsou použity obvody ST485N1 a MAX232.

2.2 Zapojení rotačního magnetického enkodéru

Magnetický enkodér je použit v smd pouzdru a je zapojen podle doporučeného zapojení z datasheetu [2]. Zvoleno bylo napájecí napětí o velikosti 5V, které je přivedeno na pin napájecího napětí označený VDD5V. Pro jeho stabilizaci je použit keramický kondenzátor C3 o doporučené velikosti 100nF. Napájecí vstup pro napájecí napětí 3,3V je blokován elektrolytickým kondenzátorem C4 o kapacitě 4,7μF podle [2]. Protože zvolený enkodér nebude programován, tak jeho programovací vstup je spojen se zemí napájecího zdroje [2]. Výstupní signál je odebírán z výstupního pinu PWM ve formě PWM modulovaného signálu a pomocí RC filtru tvořeného rezistorem R3 o velikosti odporu 4,7kΩ a kondenzátorem C2 o velikosti kapacity 68pF je převeden na spojitě napětí, které je přivedeno na konektor PSH02-03P spolu s napájecím napětím a zemí napájecího zdroje. Podle informací z datasheetu [2] lze vhodnou napěťovou úrovní zvolit inkrementální nebo absolutní počítání úhlu natočení. K tomu je určen pin označený CSn, který je připojen pomocí odporového děliče tvořeného rezistory R1 a R2 k zemi napájecího zdroje.

2.3 Vytvoření můstku

Můstek pro spínání stejnosměrného motoru, který bude pohybovat sedačkou trenažéru, je vytvořen podle přání zadávající firmy JKZ s.r.o. Je tvořen unipolárními tranzistory od firmy International Rectifier IRF 5210, které mají vodivost kanálu typu P a IRF 8010 s vodivostí kanálu typu N. Tranzistory jsou použity v pouzdru TO220AB a kvůli velkému ztrátovému výkonu jsou upevněny na chladiči CHL205A/30 stříbrné barvy. Tranzistory obsahují v pouzdru také ochrannou diodu. Tranzistory T1 a T3 pomocí spínání polarity napájecího napětí budou určovat směr otáčení motoru a tím i směr naklápění autosedačky. Při pohybu autosedačky v jednom určeném směru bude trvale sepnut vždy jeden z této dvojice tranzistorů. Na tranzistory T2 a T4 bude přiváděn PWM modulovaný signál, kterým se bude udávat rychlost otáčení motoru v daném směru.

Kvůli vysoké vstupní kapacitě na elektrodě G, která by zpomalovala spínání tranzistorů, byly zařazeny vysokorychlostní výkonové budiče TC429 od firmy Microchip v osmi pinovém pouzdrě PDIP. Budiče jsou zapojeny v doporučeném zapojení podle datasheetu [6]. Napájecí napětí bylo zvoleno 12V. Podle doporučení v datasheetu byly zdvojené kontakty propojeny, jde o piny napájecího napětí, země napájecího napětí

a výstupní signál, aby byla zaručena správná funkce budiče. Jako ochrana výstupů budičů byly zvoleny dva rezistory R9 a R10 o velikosti 150Ω , které mají za úkol omezit velikost proudu, který vznikne přímým připojením kapacity hradla G u MOS tranzistoru na zem.

Obvod tvořený bipolárním tranzistorem Q4 a rezistory R22, R20 a R19 slouží k odvedení nahromaděného náboje na elektrodě G unipolárního tranzistoru T1. Tento náboj se nahromadí vlivem parazitní kapacity elektrody G a značně ovlivňuje funkci tranzistoru. Když není na elektrodu G přiveden řídicí signál z mikrokontroléru je na této elektrodě napětí ze zdroje 24V a kapacita této elektrody je plně nabitá. Přivedením řídicího signálu z mikrokontroléru na bázi bipolárního tranzistoru Q4 se tento tranzistor otevře a nahromaděný náboj na elektrodě G unipolárního tranzistoru se svede na nulový potenciál země. Stejnou funkci má i obvod tvořený bipolárním tranzistorem Q3 a rezistory R18, R16 a R15.

Stejnoseměrný motor bude k můstku připojen pomocí konektoru CZM5/2. K zachycení rychlých napěťových špiček, vzniklých působením motoru, a ochraně unipolárních tranzistorů byl vybrán jednosměrný transil 1,5KE36CA.

2.4 Vytvoření rozhraní pro komunikaci

Pro komunikaci mikrokontroléru s nadřazeným počítačem ovládajícím trenážer bylo použito sériových rozhraní RS232 a RS485. Pro připojení PC byl kvůli úspoře místa na desce plošného spoje zvolen jeden konektor PSH02-03P společný pro obě rozhraní, místo originálních konektorů CANNON pro RS232 a RS485. Volba rozhraní se provede vložением příslušného převodníku napěťových úrovní do připravené patice.

2.4.1 Rozhraní RS232

RS232 je rozhraní pro sériovou komunikaci s inverzními napěťovými úrovněmi logických úrovní. Tyto napěťové úrovně jsou vztaženy k nulovému potenciálu země. Používá se dvou vodičů, jeden pro vysílač a druhý pro přijímač. Stav logické 1 je dán zápornou napěťovou úrovní menší než $-3V$ a logická 0 je dána kladnou napěťovou úrovní větší než $+3V$. Nedefinovaný stav leží v rozmezí napěťových úrovní $-3V$ až $+3V$. Začátek přenosu dat je signalizován startbitem, následuje 5 – 9 datových bitů, paritní bit a jeden nebo dva stopbity. Datové bity jsou přenašeny od nejméně významného bitu (LSB) k nejvíce významnému bitu (MSB). Maximální délka vedení pro tuto komunikaci je závislá na symbolové rychlosti a roste s nižší symbolovou rychlostí.

Pro rozhraní RS232 byl zvolen duální vysílač/přijímač MAX232. Přeměňuje napěťové úrovně mikrokontroléru na potřebné napěťové úrovně pro RS232. Je použit v pouzdru PDIP v 16 pinovém provedení. Zapojen podle doporučeného zapojení z datasheetu [5] a velikost napájecího napětí byla zvolena 5V. Pro příjem signálu v úrovni RS232 je určen pin 8, pro výstup signálu v úrovni RS232 byl zvolen pin 7. K příjmu signálu v TTL/CMOS úrovni je využit pin 9 a pro výstup signálu v úrovni TTL/CMOS byl zvolen pin 10. K pinům 1, 3 a 4, 5 byly zapojeny elektrolytické kondenzátory C11 a C12 o velikosti $1\mu F$ podle doporučení [5]. Na piny 2 a 6, které udávají rozsah výstupního napětí, jsou připojeny elektrolytické kondenzátory C13 a C14 o velikosti $1\mu F$ [5]. Kondenzátor C13 je připojen na napájecí napětí a kondenzátor C14 je připojen na zem napájecího zdroje. Piny 13 a 11 jsou ošetřeny připojením na zem.

2.4.2 Rozhraní RS485

RS485 je průmyslová sériová komunikace u které jsou použity 2 vodiče označené buď jako A a B nebo jako $-$ a $+$. Označení A nebo $-$ značí invertovaný vodič, značka B nebo $+$ označuje neinvertovaný vodič. Stav logické 1 je dán napěťovým rozdílem mezi vodiči A-B a odpovídá mu napěťová úroveň menší než $300mV$, stav logické 0 je dán rozdílem napěťových úrovní mezi vodiči A-B a potřebná napěťová úroveň je větší než $300mV$.

Obvyklé napěťové úrovně logických stavů jsou +2V a -2V. Přenos dat začíná startbitem, informace je přenášena pomocí 7 nebo 8 bitů, přenos se ukončuje 1 nebo více stopbity a poslední je paritní bit. Rozdílové napětí tvořící logické stavy odstraňuje naindukované rušivé napětí vztahované k zemi, protože na obou vodičích je stejná velikost tohoto napětí. Jako datový vodič se používá dvou vodičový zkroucený stíněný kabel.

Pro tento druh komunikace je zvolen napěťový převodník ST485N1, použit v 8 pinovém pouzdru PDIP a je zapojen podle doporučení z datasheetu [4]. Napájecí napětí o velikosti 5V je připojeno na pin 8 a jeho zem je přivedena na pin 5. Mezi vstupní piny 7 a 6 označené A a B je vložen rezistor R23 o velikosti 120Ω podle doporučení [12]. Piny 1 a 4 jsou spojeny s piny 9 a 10 obvodu MAX232 a zapojeny k pinům TxD a RxD mikrokontroléru ATmega16, kde je vysílač a přijímač jednotky USART. Piny 2 a 3 jsou spojeny do jednoho a přes odpor R31 o velikosti 10kΩ odpojeny od země napájecího zdroje a připojeny k pinu 41 u mikrokontroléru.

2.5 Vytvoření napájení

2.5.1 Napájecí zdroj

Pro určení výkonu napájecího zdroje jsou důležité údaje o maximální povolené hmotnosti, velikosti naklonění autosedačky a čase přestavení z jedné krajní polohy do druhé. Pro tento servomechanismus je maximální povolená hmotnost 100kg, celková naklonění ±5cm a maximální doba přestavení 1s. Výkon zdroje se určí z [11] podle vztahu

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s \cdot \cos \alpha}{t} \quad (2.1)$$

Po dosazení zadaných hodnot do vztahu (2.1) lze určit minimální potřebný výkon napájecího zdroje

$$P = \frac{F \cdot s \cdot \cos \alpha}{t} = \frac{m \cdot g \cdot s \cdot \cos 0}{t} = \frac{100 \cdot 9,81 \cdot 10 \cdot 10^{-2}}{1} = 98,1W$$

Z katalogu napájecích zdrojů firmy TDK Lambda [10] byla vybrána série napájecích zdrojů pro komerční použití LS a měničový napájecí zdroj s pevným napětím 24V o výkonu 150W.

Napájecí zdroje z této série mají podle [10] tyto parametry uvedené v tabulce 2.1.

Tab. 2.1 Technické parametry napájecích zdrojů série LS od firmy TDK Lambda [10]

Výkon	25 – 150 W
Počet výstupů	1
Výstupní napětí	3,3 – 48 V
Chlazení	Prouděním
Vstupní napětí	85 – 265 V ~
Pouzdro	Uzavřený plechový obal

2.5.2 Napájení můstku

Velikost napájecího napětí byla zvolena 24V. Toto napětí je přivedeno na vstupní filtr typu dolní propust tvořeného toroidní tlumivkou SW260C1 o velikosti 23uH a elektrolytického kondenzátoru C16 o velikosti 470uF, který je dimenzován na napětí

o velikosti 35V. Takto upravené napětí je použito k napájení tranzistorového můstku a stejnosměrného motoru.

2.5.3 Napájení budičů

Pro funkci vysokorychlostních výkonových budičů TC429 je použito 12V napájecí napětí. Toto napětí je vytvořeno z 24V napětí pomocí napěťového regulátoru 78L12Z. Tato součástka byla zvolena v pouzdru TO – 220 a je zapojena podle doporučeného zapojení [7]. Na vstupu je a výstupu jsou podle [7] použity keramické kondenzátory C22 a C23 o velikosti 100nF. Výstupní napětí je dále vyhlazováno dvěma elektrolytickými kondenzátory C24 a C25 o velikosti 470uF, které jsou dimenzovány pro napětí 16V podle [7]. Jako přepěťová ochrana je dále zvolena Zenerova dioda BZX85 v pouzdru DO41 dimenzována na 15V.

2.5.4 Napájení mikrokontroléru

Pro vytvoření 5V napájecího napětí byl vybrán napěťový regulátor 7805T v pouzdru TO – 220. Kvůli velkému ztrátovému teplu bude upevněn na vybraném chladiči spolu s výkonovými tranzistory tvořící ovládací můstek pro stejnosměrný motor. Napěťový regulátor je zapojen podle doporučeného zapojení z datasheetu [8] jako obvod pro pevnou regulaci výstupního napětí. K oddělení neupraveného 24V napájecího napětí od stabilizátoru je použit elektrolytický kondenzátor C15 o velikosti 470uF a dimenzován na 35V. Na vstupu regulátoru je zapojen 100nF keramický kondenzátor C17 místo doporučené velikosti 0,33uF. Velikost tohoto kondenzátoru byla zvolena kvůli sjednocení všech použitých keramických kondenzátorů. Na výstupu regulátoru je použit keramický kondenzátor C18 o doporučené velikosti 100nF [8]. Dále jsou zvoleny dva elektrolytické kondenzátory C19 a C20 o velikosti 470uF a dimenzovány na 16V podle doporučení [8]. Za nimi je použit keramický kondenzátor C21 o velikosti 100nF [8]. Napěťová ochrana je vytvořena Zenerovou diodou BZX85 v pouzdru DO41 dimenzována na 6V a pro signalizaci připojeného napětí je zvolena zelená LED dioda LED5G s ochranným rezistorem R5 o velikosti 1k Ω .

3. Vlastnosti zařízení

Daný servomechanismus je určen pro řídičský trenažér AT – 208 VRT firmy JKZ s.r.o., který slouží k praktickému výcviku v řízení osobního automobilu. Tento trenažér je určen pro používání ve vnitřních prostorech. Z tohoto důvodu byl vybrán napájecí zdroj pro komerční aplikace firmy TDK Lambda řady LS, který má potřebný výkon a malé rozměry [10]. Stejnoseměrný motor, který bude naklápět autosedačku prostřednictvím navíjecího bubnu bude uložen spolu s řídicí elektronikou vzadu trenažéru pod autosedačkou. Protože trenažér je určen pro používání ve vnitřních prostorech není třeba používat tepelné kompenzace a podobná opatření pro správnou funkci zařízení.



Obrázek 3.1 Automobilový trenažér AT – 208/ VRT firmy JKZ s.r.o.

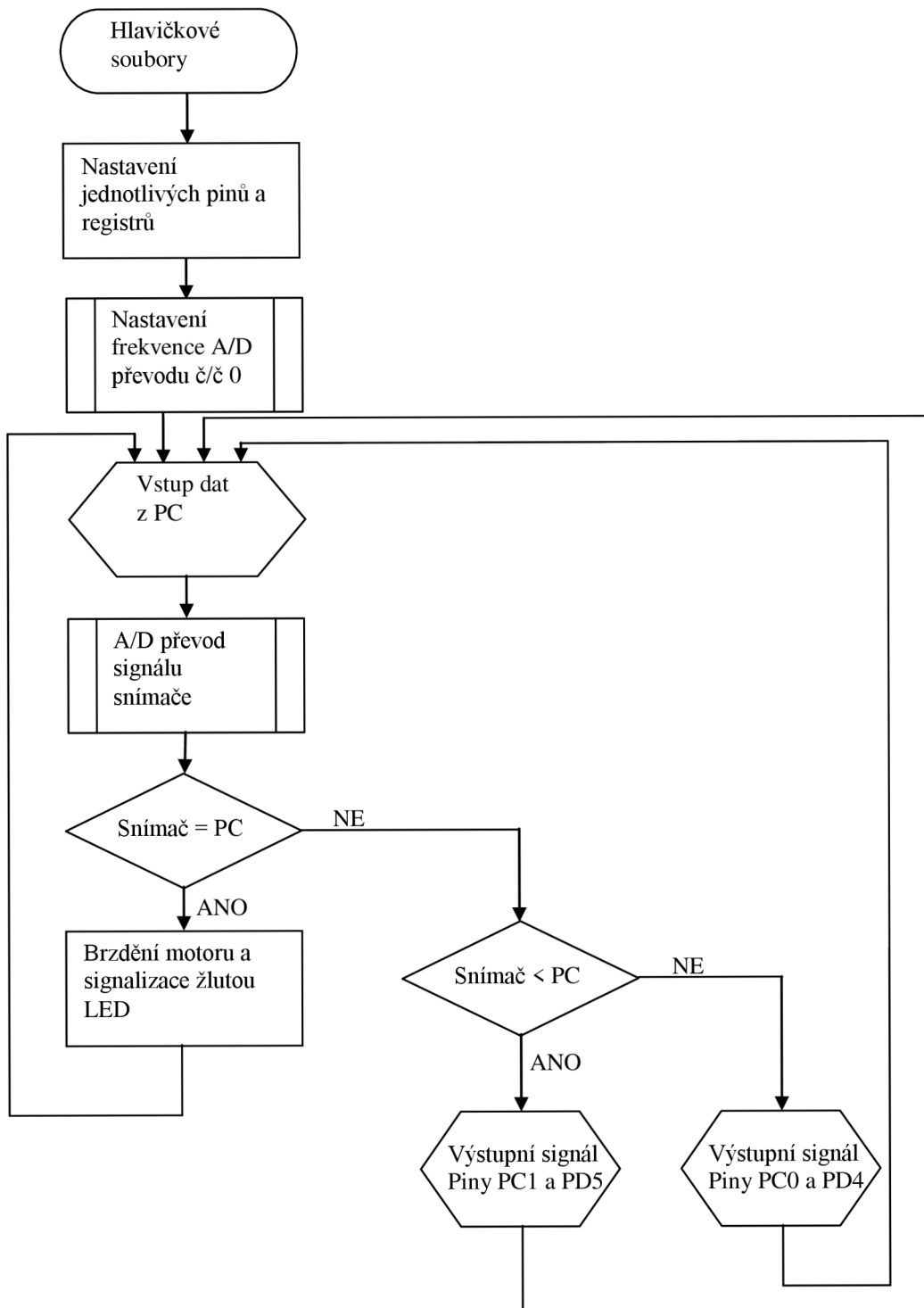
U vybraného stejnosměrného motoru závisí rychlost přestavení polohy na velikosti zrychlení. Velikost tohoto zrychlení bude vypočítána v závislosti na velikosti odchylky požadované a skutečné polohy autosedačky trenažéru. Celkový servomechanismus je dimenzován na maximální hmotnost 100kg, ale předdimenzování napájecího zdroje a motoru umožní mírně navýšit danou maximální hmotnost. K odměřování velikosti natočení je použito absolutní měření úhlu natočení. Použitím bezkontaktního magnetického enkodéru pro snímání aktuální polohy naklonění autosedačky odpadá ošetřování nepříznivých vlivů při snímání polohy. Aby trenažér mohl být zapnut, a zahájena výuka i při sedícím studentovi, musí být servomechanismus schopen vyhledat nulovou pozici a udržet ji i s daným zatížením. Dále musí být zabráněno kmitání autosedačky při malých změnách rychlosti trenažéru, ale zároveň musí být dodržena potřebná rychlost přestavení z jedné krajní polohy do druhé. Toho se dosáhne zvolením potřebné přenosové rychlosti při sériovém přenosu dat z řídicího počítače trenažéru do mikrokontroléru, který bude řídit naklápění autosedačky.

Tab. 3.1 Technické parametry řídicího trenažéru AT – 208 VRT firmy JKZ s.r.o.[13]

Napájecí napětí	230V/50Hz
Příkon kabiny	280W
Přípojovací prvky	Síťová vidlice 230V/10A
Plošné rozměry	100 x 180 cm
Hmotnost kabiny	180 kg
Maximální relativní vlhkost	80%
Provozní teplota okolí	+15°C až +35°C

4. Schéma řídicího programu

Vývojový diagram programu servomechanismu:



Obrázek 4.1 Vývojový diagram.

5. Realizace servomechanismu

Dalším bodem zadání práce bylo vlastní zrealizování obvodu servomechanismu. Kvůli omezení bezplatné verze návrhového programu Eagle, jsou rozměry desky plošného spoje 10,2 cm x 8,9 cm. Deska plošného spoje je jednostranná a křížované spoje jsou vyřešeny propojkami a dlouhá propojení jsou řešena drátovými spoji. Mikrokontrolér ATmega16 v provedení pro plošné pájení je umístěn vespod desky na straně spojů. Provedení SMD mikrokontroléru bylo zvoleno kvůli úspoře místa na desce. Ostatní součástky jsou v drátovém provedení a umístěny nahoře desky.

Na horní straně desky je umístěn hliníkový chladič 205A/30 a k němu připevněny a prostřednictvím teplovodné pasty tepelně spojeny spínací tranzistory můstku a stabilizátor na napětí 5V. Chladič je vodivě spojen prostřednictvím stabilizátoru a zem napájecího napětí. Tranzistory jsou od chladiče elektricky izolovány.

Všechny integrované obvody jsou umístěny do patič, výměnou integrovaných obvodů lze zvolit druh sériové komunikace s nadřazeným PC trenažéru. Pro připojení ostatních zařízení jsou zvoleny konektory PSH ve vertikální poloze a také tlačítka pro RESET a další přídavné funkce byly zvoleny co nejužší kvůli úspoře místa na desce.

Záporný pól napájecího zdroje je spojen s zemí 5V a 12V napětí u kondenzátoru C15 prostřednictvím drátového propojení. Šířka silových spojů je 2,1mm a sdělovacích spojů 0,44mm. Kvůli potřebným přemostěním signálových spojů byly upraveny i rozteče mezi jednotlivými rezistory a tranzistory a také z důvodu lepšího pájení byly upraveny i pájecí plošky u všech použitých součástek. Všechny kondenzátory co umístěny co nejbližší součástkám, ke kterým patří.

Pro testování a ladění programu byly použity 2 potenciometry, jeden z nich sloužil jako vstupní signál z PC trenažéru a druhý jako signál z magnetického rotačního enkodéru. Jako motor pro naklápění sedačky byl pro testovací účely použit stejnosměrný komutátorový motor. Při testování byl přidán tantalový kondenzátor o velikosti 1uF ke konektoru MLW10 mezi napájecí napětí a zem. Při testování bylo zjištěno kmitání napětí u stabilizátoru na 5V, které je způsobeno delší vzdáleností obou keramických kondenzátorů od stabilizátoru. Dále bylo zjištěno, že při použití sériového rozhraní RS232 je potřeba odpojit rezistor R3 potřebný pro rozhraní RS485.

6. Nastavení jednotlivých registrů v programu

Pro funkci řídicího programu je nejprve nutno nastavit jednotlivé registry periférií mikrokontroléru ATmega16 kvůli jejich správné funkci a také tímto nastavením vybrat z více možností, které mohou být použity u některých periférií. Mezi použitými perifériemi jsou A/D převodník, čítač/časovač 0, čítač/časovač 1 a jednotka USART.

6.1 Hlavičkové soubory

Použité hlavičkové soubory jsou vybrány z knihovny ANSI, která obsahuje souhrn funkcí jazyka C jak uvádí literatura [14]. Velká část funkcí z této knihovny je podporována všemi kompilátory, ale je vhodné jejich funkci ověřit [14]. V tomto programu jsou z knihovny ANSI použity tyto funkce:

```
#include <stdio.h> // obsahuje funkce, makra a datové typy potřebné pro vstup nebo výstup

#include <string.h> // obsahuje funkce pro zpracování znakových řetězců, které se využijí
// v komunikaci servomechanismu s řídicím PC trenažerem přes RS232

#include <stdlib.h> // obsahuje funkce pro převody čísel, které jsou použity pro správu
// paměti

#include <avr/interrupt.h> // obsahuje funkce, které jsou potřebné pro přerušení
// mikrokontroléru AVR

#include <avr/io.h> // obsahuje funkce, které popisují mikrokontrolér AVR
```

6.2 Nastavení A/D převodníku

Pro převod analogového signálu od magnetického rotačního enkodéru je využit zabudovaný A/D převodník mikrokontroléru. Nastavení A/D převodníku se provádí pomocí registrů ADMUX a ADCSRA [1].

6.2.1 Registr ADMUX

REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0
-------	-------	-------	------	------	------	------	------

Obrázek 6.1 Rozložení bitů registru ADMUX.

Registr ADMUX slouží k nastavení analogové reference pomocí bitů REFS1, REFS0. Bit ADLAR slouží k zarovnání výsledku převodu a 5 bitů označených jako MUX 4:0 slouží k výběru vstupního kanálu pro A/D převod [1]. V řídicím programu je použito toto nastavení registru ADMUX:

REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0
0	1	0	0	0	0	0	0

Obrázek 6.2 Nastavení registru ADMUX.

Analogová reference je prostřednictvím bitů REFS1 a REFS0 nastavena na AVCC, což je 5V. Pin AVCC je vnitřně spojen s pinem AREF, na kterém je zapojen keramický

kondenzátor C6 o velikosti 100nF. Bitem ADLAR je nastaveno zarovnání výsledku doprava a bity MUX4:0 je vybrán pin, na kterém je připojen magnetický rotační enkodér.

6.2.2 Registr ADCSRA

ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0
------	------	-------	------	------	-------	-------	-------

Obrázek 6.3 Rozložení bitů registru ADCSRA.

Registr ADCSRA řídí převod a obsahuje informaci o jeho stavu [1]. Bit ADEN slouží k zapnutí a vypnutí převodníku, bit ADSC obsahuje informaci o stavu převodu, bit ADATE je pro povolení převodu od externích zdrojů, bit ADIF je příznak přerušení po skončení převodu a ADIE povoluje přerušení po skončení A/D převodu. Bity ADPS2:0 nastavují před-děličku převodníku [1].

Tab. 6.1 Jednotlivé módy PWM signálu vytvořeného čítačem/časovačem 1 [1].

ADPS2	ADPS1	ADPS0	Dělicí faktor
0	0	0	2
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	128

Konkrétní nastavení registru ADCSRA v programu:

ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0
1	0	0	0	1	1	1	1

Obrázek 6.4 Nastavení registru ADCSRA.

Bit ADSC zahajuje převod a také informuje, zda převod stále probíhá nebo je ukončen, bitem ADATE není povoleno spouštění převodu od externích zdrojů, bit ADIF je ponechán v nule, nastavení bitu ADIE povoluje přerušení od A/D převodníku a bity ADPS2:0 je nastavena před-dělička na hodnotu 128.

Pro testování a odladování programu byly využity potenciometry. V programu je vyvolané přerušení od A/D převodníku a v přerušení je proveden převod nejprve od rotačního magnetického enkodéru a jeho hodnota je vložena do proměnné. Dále je nastaven A/D převod pro hodnotu napětí z potenciometru a jeho hodnota je také vložena do proměnné. Skončení A/D převodů je testováno pomocí bitu ADSC, zda je vynulován a tím ukončen převod. Obě proměnné jsou globální a inicializovány na začátku programu.

Hodnoty v těchto proměnných jsou převedeny na napětí, porovnávány navzájem a podle jejich velikosti jsou vytvořeny cykly pro směr otáčení motoru servomechanismu. Pro natočení motoru je potřeba piny C0 a D4 nebo C1 a D5. Piny C0 a C1 ovládají sepnutí motoru vysokou úrovní, kdy sepnou bipolární tranzistory, které zaručí rychlé sepnutí unipolárních tranzistorů T1 a T3. Piny D4 a D5 ovládají sepnutí motoru PWM signálem, který je nejprve

v nízké úrovni a výkonové budiče jej převedou na vysokou úroveň potřebnou k sepnutí tranzistorů T2 a T4.

6.3 Nastavení PWM signálu

Pro vytvoření PWM signálu byl využit 16 bitový čítač/časovač 1. Nastavení parametrů PWM signálu se provádí pomocí registrů TCCR1A, TCCR1B, TCNT1, OCR1A, OCR1B [1].

6.3.1 Registr TCCR1A

COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10
--------	--------	--------	--------	-------	-------	-------	-------

Obrázek 6.5 Rozložení bitů registru TCCR1A.

Pomocí bitů COM1A1:0 a COM1B1:0, lze vybrat výstup pro signál, mód signálu PWM a nastavení úrovně při komparační shodě. Výstupní signál může být bez PWM, rychlý signál PWM, fázově korigovaný režim PWM, fázově a frekvenčně korigovaný režim PWM.

Bits FOC1A a FOC1B jsou aktivní pouze v módu 13, kdy výstupní signál není PWM a kvůli kompatibilitě, kdy je výstupní signál PWM, musí být nastaveny na nulu [1]. U generování signálu PWM lze kromě režimu PWM signálu zvolit také mód PWM. Ten se nastavuje bits pomocí 4 bitů. Dva bits pro jeho nastavení obsahuje registr TCCR1A a jsou označeny WGM11 a WGM10 [1]. Jednotlivé módy se liší počtem bitů PWM signálu a hodnotami od kterých čítač čítá do maximální hodnoty pro vytvoření PWM signálu [1].

COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10
0	0	0	0	0	0	0	1

Obrázek 6.6 Nastavení registru TCCR1A.

Výstupní PWM signál je nastaven do rychlého režimu PWM. Protože se nepracuje v módu 13, jsou bits FOC1A a FOC1B vynulovány a bits WGM11 a WGM10 nastavují mód 5 PWM signálu, který označuje rychlou 8 bitovou PWM modulaci. Čítač/časovač při ní čítá od 0 do hodnoty 0x00FF a pak při komparační shodě je vynulován.

6.3.2 Registr TCCR1B

ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10
-------	-------	---	-------	-------	------	------	------

Obrázek 6.7 Rozložení bitů registru TCCR1B.

Bit ICNC1 slouží k nastavení vstupního šumového rušiče zachytávání. Pokud je tento bit nastaven je filtrován vstupní signál z pinu, který je nastaven jako ICP1. Pro filtraci je nutno vzorkovat tento pin [1]. Druhý bit označený ICES1 slouží k výběru okraje, který slouží pro zachycení události na pinu ICP1. Pátý bit tohoto registru je rezervní pro další použití, ale v datasheetu [1] je doporučeno jeho nulování, pro zajištění kompatibility s dalšími zařízeními. Bits WGM13 a WGM12 jsou další bits pro nastavení módu signálu PWM. Poslední tři bits CS12:10 jsou pro nastavení před-děličky hodinového signálu. Hodnoty před-děličky mohou být 8, 64, 256, 1024 jak uvádí [1].

ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10
0	0	0	0	1	1	0	1

Obrázek 6.8 Nastavení registru TCCR1B.

Bits ICNC1 a ICES1 spolu s rezervním bitem jsou ponechány v nízké úrovni. Bits WGM13 a WGM12 jsou nastaveny podle [1] pro mód 5 PWM a 3 bity CS12:CS10 nastavují před-děličku na hodnotu 1024.

Tab. 6.2 Jednotlivé módy PWM signálu vytvořeného čítačem/časovačem 1 [1].

Mód	WGM13	WGM12	WGM11	WGM10	PWM signál	TOP	Aktualizace OCR1x	Nastavení přetečení
0	0	0	0	0	Normální	0xFFFF	Okamžitá	MAX
1	0	0	0	1	PC PWM 8	0x00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	PC PWM 9	0x01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	PC PWM 10	0x03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	CTC	OCR1A	Okamžitá	MAX
5	0	1	0	1	F PWM 8	0x00FF	TOP	TOP
6	0	1	1	0	F PWM 9	0x01FF	TOP	TOP
7	0	1	1	1	F PWM 10	0x03FF	TOP	TOP
8	1	0	0	0	PFC PWM	ICR1	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	PFC PWM	OCR1A	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	PC PWM	ICR1	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	PC PWM	OCR1A	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	CTC	ICR1	Okamžitá	MAX
13	1	1	0	1	Rezervováno	-	-	-
14	1	1	1	0	F PWM	ICR1	TOP	TOP
15	1	1	1	1	F PWM	OCR1A	TOP	TOP

Vysvětlivky: PC PWM x – fázově korektní PWM, F PWM x – rychlá PWM, PFC PWM – fázově a frekvenčně korektní PWM, x – počet bitů PWM

6.3.3 Registr TCNT1

Tento 16 bitový registr je rozdělen na dva 8 bitové registry označené jako TCNT1L a TCNT1H. Jsou určeny pro přímý zápis i čtení hodnot 16 bitového čítače/časovače. Pro souběžný zápis i čtení hodnot tohoto registru je doporučen přístup přes registr TEMP [1].

TCNT1H7	TCNT1H6	TCNT1H5	TCNT1H4	TCNT1H3	TCNT1H2	TCNT1H1	TCNT1H0
0	0	0	0	0	0	0	0
TCNT1L7	TCNT1L6	TCNT1L5	TCNT1L4	TCNT1L3	TCNT1L2	TCNT1L1	TCNT1L0
0	0	0	0	0	0	0	0

Obrázek 6.9 Nastavení registru TCNT1.

6.3.4 Registry OCR1A a OCR1B

Tyto výstupní komparační registry jsou 16 bitové a rozděleny na dva 8 bitové registry OCR1AL, OCR1AH a OCR1BL, OCR1BH [1]. Jejich obsažená hodnota je porovnávána s hodnotou registru TCNT1. Shoda může sloužit k vytvoření přerušování nebo k vytvoření

PWM signálu na pin OC1X. Jako OC1X může být nastaven pin PD4 nebo PD5. Je také možný souběžný zápis i čtení hodnot tohoto registru přes registr TEMP [1].

OCR1AH7	OCR1AH6	OCR1AH5	OCR1AH4	OCR1AH3	OCR1AH2	OCR1AH1	OCR1AH0
0	0	0	0	0	0	0	0
OCR1AL7	OCR1AL6	OCR1AL5	OCR1AL4	OCR1AL3	OCR1AL2	OCR1AL1	OCR1AL0
1	1	1	1	1	1	1	1

Obrázek 6.10 Nastavení registru OCR1A.

Při použití pinu PD4 je použit registr OCR1A a při PD5 je využit OCR1B. Do těchto registrů je vložena hodnoty rychlosti, která je vypočítávána z rozdílu napětí ze snímače, potenciometru a hystereze. Hysterezi je určeno okolí hodnot napětí, které jsou považovány za shodné a dojde tedy k zastavení naklápění autosedačky trenážeru. Hodnota hystereze je globálně nadefinována na začátku programu. Dále je rychlost motoru podělena strmostí což umožňuje volit zrychlení motoru a při změně směru otáčení omezuje mechanické rázy v rotoru motoru. Opět je globálně nadefinovaná na začátku programu. Protože maximální hodnota registrů je 255, tak je použit i omezovač na tuto hodnotu rychlosti, aby nedošlo k přetečení registru.

6.4 Nastavení USART

Jednotka USART slouží ke komunikaci mikrokontroléru s vnějším okolím prostřednictvím sériového rozhraní. Pro její nastavení jsou zapotřebí tyto registry: UCSRA, UCSRB, UCSRC, UDR a UBRR [1].

6.4.1 Registr UCSRA

RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MPCM
-----	-----	------	----	-----	----	-----	------

Obrázek 6.11 Rozložení bitů registru UCSRA.

Bit RXC indikuje svým nastavením přijatý bajt, TXC indikuje odeslaný bajt svým nastavením, pokud ve vyrovnávací paměti již nejsou žádná data a bit UDRE svým nastavením oznamuje vyprázdněnou vyrovnávací paměť. Další bit FE oznamuje chybu rámce, DOR ztrátu dat. Bit U2X slouží k nastavení dvojnásobné rychlosti a MPCM pro víceprocesorový režim[1].

RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MPCM
0	0	0	0	0	0	0	0

Obrázek 6.12 Nastavení registru UCSRA.

Indikační bity RXC, TXC a UDRE jsou ponechány nenastaveny. Podobně nenastaveny jsou další indikační bity a nastavovací bity, pro zvýšení rychlosti nebo pro využití více procesorů.

6.4.2 Registr UCSRB

RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8
-------	-------	-------	------	------	-------	------	------

Obrázek 6.13 Rozložení bitů registru UCSRB.

Bity RXCIE a TXCIE a UDRIE slouží k povolení přerušení od příjmu a od vysílače. Přerušení se vykoná po dokončení příjmu nebo vyslání dat. Po povolení patřičného přerušení jsou nastaveny bity RXC, TXC a UDRE v registru UCSRB. Bity RXEN a TXEN slouží pro povolení přijetí nebo vyslání dat. Pomocí UCSZ2 se nastavuje bitová délka dat [1]. Data mohou být ve velikosti 5, 6, 7, 8 a 9 bitů. RXB8 a TXB8 jsou určeny pro 9. bit dat pro přijetí a vyslání [1].

RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8
1	1	1	1	1	0	0	0

Obrázek 6.14 Nastavení registru UCSRB.

Nastavením bitů RXCIE a TXCIE je povoleno přerušení od přijetí a od vyslání dat. UDRIE povoluje přerušení od vyprázdňené vyrovnávací paměti. RXEN a TXEN povolují přijetí nebo vyslání dat. UCSZ2 nastavuje 8 bitový přenos. RXB8 a TXB8 jsou ponechány nenastaveny, protože byl zvolen 8 bitový přenos.

6.4.3 Registr UCSRC

URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL
0	0	0	0	0	1	1	0

Obrázek 6.15 Rozložení bitů registru UCSRC.

Bit URSEL určuje do kterého registru se bude zapisovat. Na výběr jsou UCSRC a UBBRH. UMSEL rozhoduje o synchronním nebo asynchronním přenosu dat. Bity UPM1 a UPM0 slouží k nastavení parity. USBS rozhoduje, zda bude použit jeden nebo dva stop bity. UCSZ1:0 určují počet datových bitů. Pokud je nastaven synchronní přenos dat, tak nastavením bitu UCPOL se volí hrana vzorkování dat.

URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL
0	0	0	0	0	1	1	0

Obrázek 6.16 Nastavení registru UCSRC.

Nenastavením bitu URSEL bylo voleno zapisování do registru UBBRH, bitem UMSEL je zvolen asynchronní přenos dat. Bity UPM1:0, které jsou vynulovány, je zvolen přenos dat bez parity. USBS určuje 1 stop bit. Bity UCSZ1:0 jsou nastaveny pro 8 datových bitů a UCPOL je nenastaven, kvůli zvolenému asynchronnímu přenosu dat.

Tab. 6.3 Možné velikosti datového signálu pro sériovou komunikaci [1].

UCSZ2	UCSZ1	UCSZ0	Počet datových bitů
0	0	0	5
0	0	1	6
0	1	0	7
0	1	1	8
1	0	0	Rezervováno
1	0	1	Rezervováno
1	1	0	Rezervováno
1	1	1	9

6.4.4 Registr UDR

RXB7	RXB6	RXB5	RXB4	RXB3	RXB2	RXB1	RXB0
0	0	0	0	0	0	0	0
TXB7	TXB6	TXB5	TXB4	TXB3	TXB2	TXB1	TXB0
0	0	0	0	0	0	0	0

Obrázek 6.17 Nastavení registru UDR.

Tento registr slouží jako vyrovnávací paměť pro vysílač a přijímač jednotky USART. Registr RXB slouží k zápisu přijatých dat a TXB pro vyslání dat. Pokud je zvoleno méně datových bitů než 8, tak jsou data zapsána a vyšší bity jsou nevyužity. Celý registr se skládá ze dvou úrovněových FIFO pamětí. Princip této paměti je, že prvně přijatá data jsou také prvně odeslána z paměti.

6.4.5 Registr UBRR

URSEL	-	-	-	UBRR11	UBRR10	UBRR9	UBRR8
UBRR7	UBRR6	UBRR5	UBRR4	UBRR3	UBRR2	UBRR1	UBRR0

Obrázek 6.18 Rozložení bitů registru UBRR.

Bit URSEL vybírá mezi přístupem do registru UBRRH a UCSRC. Pokud není nastaven, tak se pracuje s UBRRH, pokud je nastaven, tak s UCSRC. Bity UBRRH14:12 jsou rezervní bity a pro kompatibilitu se zařízeními musí být nastaveny do nuly. Bity UBRR11:0 slouží k nastavení symbolové rychlosti. UBRR11:8 jsou významnější bity a UBRR7:0 jsou méně významné bity [1]. Pro zvolené symbolové rychlosti a frekvenci externího krystalu lze určit procentuální chybovost asynchronního přenosu dat. Tuto chybovost lze určit dle vztahu [1]:

$$Chyba = \left(\frac{\text{frekvence_oscilátoru}}{\text{Symbolová_rychlost}} - 1 \right) \cdot 100 \quad (6.1)$$

URSEL	-	-	-	UBRR11	UBRR10	UBRR9	UBRR8
0	0	0	0	0	0	0	0
UBRR7	UBRR6	UBRR5	UBRR4	UBRR3	UBRR2	UBRR1	UBRR0
0	0	1	0	1	1	1	1

Obrázek 6.19 Nastavení registru UBRR.

Bitem URSEL je nastaven přístup do registru UBRRH a bity UBRR11:0 je nastavena symbolová rychlost na 19 200 baudů/s při normální rychlosti přenosu dat. Z tabulky z datasheetu [1] je pro tyto parametry 0,0% a maximální bitová rychlost při nulové chybě přenosu je 1,8432 Mbit/s.

6.5 Nastavení Čítače/časovače 0

Tento čítač/časovač 0 slouží k nastavení periodického startování A/D převodníku pro převod signálu z rotačního magnetického enkodéru a pro případné výstražné blikání výstražných LED diod při výstraze nebo poruše. Využívá se přetečení jeho obsahu.

6.5.1 Registr GICR

INT1	INT0	INT2	-	-	-	IVSEL	IVCE
------	------	------	---	---	---	-------	------

Obrázek 6.20 Rozložení bitů registru GICR.

Registr GICR je kontrolní registr přerušení. Při nastavení přerušení od čítače/časovače 0 jsou přístupné pro nastavení pouze bity IVSEL a IVCE. Bit IVSEL rozhoduje o umístění vektorů přerušení v paměti FLASH. Bit IVCE musí být nastaven pro přístup k bitu IVSEL. Pokud je nastaven, tak po 4 cyklech je hardwarem automaticky vynulován.

INT1	INT0	INT2	-	-	-	IVSEL	IVCE
						0	0

Obrázek 6.21 Nastavení registru GICR.

Protože je bit IVSEL ponechán nenastaven, tak je nenastaven i bit IVCE. Tím, že IVSEL zůstává v nule, tak vektory přerušení jsou umístěny na začátek FLASH paměti.

6.5.2 Registr TCCR0

FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00
------	-------	-------	-------	-------	------	------	------

Obrázek 6.22 Rozložení bitů registru TCCR0.

Tímto registrem se nastavuje funkce čítače/časovače 0. FOC0 nastavuje výstup, který je řízen shodou mezi registry TCNT0 a OCR0. Bity WGM01:00 nastavují mód čítače/časovače 0 a také jeho maximální hodnotu, do které bude čítat. COM01:00 nastavují chování registru OCR0. Bity CS02:00 slouží pro nastavení hodinového signálu pro čítač.

FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00
0	0	0	0	0	1	0	1

Obrázek 6.23 Nastavení registru TCCR0.

Ponecháním bitu FOC0 v nízké úrovni je zabráněno porovnání hodnot uložených v registrech TCNT0 a OCR0. Bity WGM01:00 je vybrán mód 0 výstupního signálu a čítač/časovač 0 pracuje normálním módem a čítá do hodnoty 0xFF. Protože není využito porovnávání hodnot pro výsledek, tak nejsou nastaveny ani bity COM01:00. Pomocí CS02:00 je nastavena před – dělička hodinového signálu na hodnotu 1024.

Tab. 6.4 Možné hodnoty před – děličky hodinového signálu [1].

CS02	CS01	CS00	Popis
0	0	0	Bez hodinového signálu
0	0	1	Hodinový signál
0	1	0	před – dělička 8
0	1	1	před – dělička 64
1	0	0	před – dělička 256
1	0	1	před – dělička 1024
1	1	0	Externí zdroj – sestupná hrana
1	1	1	Externí zdroj – vzestupná hrana

6.5.3 Registr TIMSK

OCIE2	TOIE2	TICIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	OCIE0	TOIE0
-------	-------	--------	--------	--------	-------	-------	-------

Obrázek 6.24 Rozložení bitů registru TIMSK.

Při práci s čítačem/časovačem 0 jsou v tomto registru přístupné pouze bity OCIE0 a TOIE0. OCIE0 povoluje přerušení při shodě registrů TCNT0 a OCR0. TOIE0 povoluje přerušení při přetečení obsahu čítače/ časovače 0.

OCIE2	TOIE2	TICIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	OCIE0	TOIE0
						0	1

Obrázek 6.25 Nastavení registru TIMSK.

Nenastavením OCIE0 je nevyužito přerušení při shodě registrů, ale povolení přerušení je provedeno pro přetečení obsahu čítače/časovače 0 nastavením bitu TOIE0.

6.5.4 Registr TCNT0

TCNT07	TCNT06	TCNT05	TCNT04	TCNT03	TCNT02	TCNT01	TCNT00
0	1	1	1	0	0	0	0

Obrázek 6.26 Nastavení registru TCNT0.

Nastavením tohoto registru do hodnoty 0b01110000 je zvoleno přerušení po 10ms. Pro výstražné blikání LED diod je použito další čítání do 100. Pro tuto funkci je využito každé 100. přetečení obsahu čítače/časovače 0 a tím je perioda blikání 2s.

6.6 Nastavení pinů

Mikrokontrolér ATmega16 má všechny piny obousměrné. Pro nastavení jejich směru se používají registry DDRx, PORTxn a PINxn. Registr DDRx slouží k přímému nastavení směru komunikace pinu. Úroveň logická 1 nastaví vybraný pin jako výstupní, logická nula jej nastaví jako vstupní [1]. Registr PORTxn dále specifikuje funkci pinu při nadefinovaném registru DDRx. Pokud je DDRx v úrovni logická 0 a PORTxn v úrovni logická 1, tak je pin nastaven do režimu pull - up rezistor. Pokud je PORTxn nastaven v úrovni logická 0 je pin nastaven jako výstupní. Dále je možnost nastavit piny jako 3 stavové, tj. do stavu vysoké impedance. Toho lze dosáhnout nastavením obou registrů DDRx a PORTxn do úrovně logická 0 nebo logická 1 [1].

Tab. 6.5 Možná nastavení pinů mikrokontroléru [1].

DDRx	PORTxn	PUD	I/O	Pull-up	Poznámka
0	0	-	Vstupní	Ne	Stav vysoké impedance
0	1	0	Vstupní	Ano	Pin zdrojem proudu
0	1	1	Vstupní	Ne	Stav vysoké impedance
1	0	-	Výstupní	Ne	Nízká úroveň
1	1	-	Výstupní	Ne	Vysoká úroveň

Bit PUD je obsažen v registru SFIOR. Při nastavování pinů je přístupný pouze tento jeden bit, kterým lze vypnout funkci pull - up rezistor.

V programu servomechanismu jsou na PORTU A piny 1 – 6 v režimu pull - up. Ostatní 2 piny, tj. PA0 a PA7 jsou nastaveny jako vstupní, protože jsou využity pro A/D převodník.

Na PORTU B jsou piny PB0 a PB3 v režimu pull - up, piny PB2 a PB4 jsou nastaveny jako vstupní, protože jsou na ně připojeny LED diody zapojené anodou na napájecí napětí 5V. Ostatní piny jsou využity pro sériovou komunikaci.

Na PORTU C jsou v pull - up režimu piny PC6 a PC7. Další piny jsou použity pro sériovou komunikaci a také jako výstupní PC0 a PC1, které ve vysoké úrovni ovládají spínací tranzistory použité pro ovládání unipolárních tranzistorů v můstku.

Na PORTU D jsou připojeny tlačítka a konektory pro připojení zařízení k rozšíření nebo upravení funkce. Piny PD2 a PD6, na kterých jsou připojena tlačítka, jsou v režimu pull - up. Ve stejném režimu jsou i piny PD3 a PD7, kde jsou připojeny konektory. Piny PD4 a PD5 jsou výstupní, protože jsou použity k ovládání tranzistorů v můstku. PD0 a PD1 jsou použity pro sériovou komunikaci.

6.7 Nastavení funkce LED

Pro indikaci poruchového nebo výjimečného stavu jsou naprogramovány LED diody. Při náhodném sepnutí pinů PC0 a PD5 nebo PC1 a PD4, kdy dojde ke zkratu napájecího zdroje se rozblíká červená LED s periodou blikání 2s. Při brzdění motoru nebo při shodě mezi hodnotou ze snímače a potenciometru dojde k rozsvícení indikační žluté LED diody.

6.8 Nastavení funkce Watchdog

Watchdog je bezpečnostní časovač, který slouží k resetu mikrokontroléru, když mikrokontrolér nevykoná část programu, kterou tento watchdog hlídá. Reset vznikne při přetečení watchdog časovače. Hodinový systém je oddělený od hodinového systému programu a je závislý na napětí. Pro zvolené napájecí napětí 5V je frekvence watchdogu 1MHz [1].

6.8.1 Registr WDTCR

-	-	-	WDTOE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0
---	---	---	-------	-----	------	------	------

Obrázek 6.27 Rozložení bitů registru WDTCR.

Bity WDTCR7:5 jsou rezervní bity, WDTOE musí být nastaven, když je potřeba vypnout watchdogu vynulováním bitu WDE, který slouží pro zapnutí watchdogu. Bity WDP2:0 slouží pro nastavení před – děličky hodinového signálu watchdogu.

-	-	-	WDTOE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0
0	0	0	0	1	1	1	1

Obrázek 6.28 Nastavení registru WDTCR.

Nastavením bitu WDE je zapnut watchdog a bity WDP2:0 je nastavena před – dělička na hodnotu 2,1s pro napájecí napětí 5V.

Tab. 6.6 Možné hodnoty před – děličky watchdogu [1].

WDP2	WDP1	WDP0	Počet cyklů oscilátoru watchdogu	Časové zpoždění pro napětí 5V
0	0	0	16,384	16.3 ms
0	0	1	32,768	32.5 ms
0	1	0	65,536	65 ms
0	1	1	131,072	0.13 s
1	0	0	262,144	0.26 s
1	0	1	524,288	0.52 s
1	1	0	1,048,576	1.0 s
1	1	1	2,097,152	2.1 s

6.9 Výstupní data PC trenážeru

Řídící jednotka servomechanismu je řízena z PC trenážeru prostřednictvím sériové linky. Data z PC jsou vysílána v burstech, které obsahují hlavičku, povel, hodnotu a zabezpečení cyklickým redundantním součtem. Data vysílaná z PC mohou zapnout nebo vypnout naklápění a také udávat požadovanou polohu naklonění. Celková délka burstu je 35 bitů.

Hlavička	Povel	Hodnota	Hodnota	CRC
----------	-------	---------	---------	-----

Obrázek 6.29 Rozložení bitových skupin burstu.

Hlavička má velikost 1 bajt a obsahuje hodnotu 0xAA. Povel má také velikost 1 bajt a může obsahovat hodnoty 0x50, 0x5A nebo 0x56. Jednotlivé hodnoty udávají nastavení požadované hodnoty.

Tab. 6.7 Význam jednotlivých hodnot ve skupině Povel.

Hodnota	0x50	0x5A	0x56
Význam	Hodnota naklonění	Zapnutí naklápění	Vypnutí naklápění

Hodnota 0x50 udává hodnotu naklonění. Zapnutí naklápění se provede hodnotou 0x5A a 0x56 je pro vypnutí naklápění. Při vypnutém naklápění je v 10 bitech udávající hodnotu vysílána pouze hodnota 0x200 a servomechanismus jen vyrovnává vzniklé zatížení způsobené váhou studenta. Při zapnutí naklápění hodnotou 0x5A se začnou vysílat v 10 bitech hodnoty velikosti naklonění autosedačky.

V 10 bitech hodnoty je udána velikost požadovaného úhlu natočení autosedačky. Velikost úhlu natočení je od +150° do -150° a těmito hodnotám odpovídají napěťové úrovně 5V až 0V. Tyto hodnoty napětí jsou porovnávány s napětím ze snímače.

Zabezpečení dat proti chybě při přenosu se provádí cyklickým redundantním součtem. Řídící polynom cyklického redundantního součtu je 9. stupně a má hodnotu: $x^9+x^8+x^4+x^3+x^2+1$. Tomu odpovídá bitová posloupnost 1 0001 1101.

7. Popis programu

Řídicí program je napsán v jazyce C a vytvořen v AVR Studiu, které je vhodné pro naprogramování mikrokontroléru AVR firmy ATMEL[®]. Pro nahrání a odladění vytvořeného programu v reálném čase byl použit emulátor se sériovým rozhraním ISP a JTAG. Pro správné odladění programu byl využit vstup PA7 označený jako potenciometr. Tímto vstupem byl pro odladění programu zastoupen řídicí PC trenažéru.

Na začátku programu jsou vloženy hlavičkové soubory, které obsahují funkce potřebné pro běh programu. Následuje deklarování proměnných a konstant, které jsou využity k výpočtu napětí ze snímače, potenciometru a pro určení rychlosti otáčení motoru.

V hlavní funkci main jsou nastaveny piny mikrokontroléru. Všechny nevyužité piny jsou nastaveny do pull – up rezistoru. Následuje nastavení registrů pro čítač/časovač 0, A/D převodník, čítač/časovač 1, jednotku USART a povolení globálního přerušení instrukcí sei();. Na konci hlavní funkce main je vytvořena nekonečná smyčka pomocí while (1);.

V přerušení od přetečení čítače/časovače 0 je vytvořeno časování po 10 ms, které se využívá pro zahajování A/D převodu a po 1s využité při signalizaci poruchy prostřednictvím červené LED diody. U časování pro zahájení A/D převodu je nastaven watchdog na hodnotu 16 ms a při časování pro LED diodu na hodnotu 2,1 s.

Při přerušení od A/D převodníku je testován A/D převodník, zda je převod signálu ze snímače ukončen. Testování je provedeno pomocí podmínky if ((ADMUX & 0x0F) == 0). V podmínce je hodnota převodu z registru ADCW vložena do globálně definované proměnné typu unsigned long a pomocí vztahu

$$V_{IN} = \frac{ADC \cdot V_{REF}}{1024} [mV] \quad (7.1)$$

převedené na napětí v mV. Po úspěšném převodu signálu ze snímače je nastaven A/D převod signálu z potenciometru, který při odladování zastupoval PC trenažéru, a obdobným postupem převeden na napětí a připraven další A/D převod signálu ze snímače. Obvod watchdog je zde nastaven na hodnotu 1 s.

Po získání napětí ze snímače se k němu připočte určitá hystereze, pomocí které je vytvořena oblast hodnot napětí, jež budou při porovnávání hodnot napětí považována za stejná a tímto se odstraní nepříjemné klepání autosedačky trenažéru. Hystereze je globálně deklarována a její hodnotu je možno změnit hned na začátku programu. Cykly pro určení směru otáčení motoru jsou vytvořeny pomocí příkazů if a podmínky, kde je porovnávána velikost napětí z PC (potenciometru) s hodnotou napětí ze snímače upravenou o hysterezi. Pokud jsou obě napětí shodná, tak je využito brzdění motorem. Při určení směru otáčení je z rozdílů napětí vypočítána rychlost, která je ihned poté podělena strmostí. Strmost je také globálně deklarována na začátku programu a slouží k omezení mechanických rázů motoru při změně otáčení. Dále je použit i omezovač rychlosti, protože velikost rychlosti se vkládá do spodního bitu registru OCR1A (OCR1B) a omezovač zabraňuje jeho přetečení. Omezovač je vytvořen také pomocí příkazu if a následující podmínka kontroluje, zda je velikost rychlosti větší než hodnota 255₁₀ a pokud ano, tak do proměnné rychlost vloží maximální možnou hodnotu, která je 255₁₀.

Po výpočtu rychlosti je provedena kontrola zda není sepnut tranzistor, který se bude spínat. Kontrola je opět pomocí příkazu if a v podmínce je vybrána hodnota na konkrétním pinu. V běhu podmínky je vypnut PWM signál a poté všechny piny do neaktivní úrovně. Po tomto bezpečnostním vypnutí je vložena rychlost do registru OCR1A (OCR1B), zapnut signál PWM, konkrétní pin na PORTU C a dojde k rozběhu motoru.

Pokud jsou signály ze snímače a PC (potenciometru) shodné, dojde k rozsvícení žluté LED diody jsou sepnuty spodní tranzistory T2 a T4 a dochází k brzdění motoru. Tranzistory jsou trvale sepnuty a není využito PWM signálu jako při otáčení. Pro tuto akci je využit příkaz `if` s podmínkou rovnosti úrovní obou pinů, které zaručují sepnutí příslušných tranzistorů.

Při současném sepnutí tranzistorů T1 a T3 dojde k přivedení kladného napětí na obě svorky motoru a tuto situaci indikuje žlutá LED dioda. Když dojde k sepnutí tranzistorů mimo diagonálu tj. T1 a T2 nebo T3 a T4 dojde k okamžitému odpojení příslušných pinů mikrokontroléru a tento stav indikuje svým blikáním červená LED dioda. Tento stav vyžaduje resetování obvodu. Tyto akce jsou také vytvořeny pomocí příkazu `if` s podmínkou, která testuje úrovně příslušných pinů mikrokontroléru.

8. Závěr

V rámci semestrálního projektu bylo vytvořeno schéma zapojení ovládacího mikrokontroléru ATmega16 a magnetického rotačního enkodéru AS5040 pro snímání aktuální polohy natočení servomechanismu. Veškeré integrované obvody jsou zapojeny v doporučených zapojeních uvedených v datasheetech. Byly zvoleny velikosti napájecích napětí, pro tranzistorový můstek 24V, pro výkonové budiče 12V napájení a zbývající část řídicí jednotky servomechanismu je napájena 5V napětím. Pro komunikaci s řídicím počítačem může být zvoleno sériové rozhraní RS232 nebo RS485. Obě rozhraní mají společný konektor a volba rozhraní se provede vložením potřebného převodníku napěťových úrovní do připravených patič.

Protože ovládací obvod může sloužit i k jiným účelům nebo může být jeho funkce mírně pozměněna jsou použity dvě tlačítka a dva konektory pro možné připojení dalších zařízení. Případná změna nebo úprava funkce zařízení se provede v řídicím programu mikrokontroléru, který byl napsán ve vyšším programovacím jazyce typu C.

Pro vytvoření hodinového signálu mikrokontroléru byl použit externí oscilátor o velikosti frekvence 14,7456MHz. Tato hodnota je zvolena kvůli bezchybné sériové komunikaci s nadřazeným počítačem trenažéru. Programování a odlaďování programu v jazyce C bude probíhat pomocí sériového programování ISP a rozhraní JTAG. Tato komunikace bude probíhat s piny mikrokontroléru, které jsou pro tuto funkci určeny podle [1]. Pro potřeby resetu mikrokontroléru je využit pin Reset, který je k této funkci určen [1]. Dále je možno resetovat mikrokontrolér pomocí resetovacího tlačítka nebo programově, pomocí nastaveného watchdogu.

Jako jednoduchá hardwarová ochrana proti náhodnému sepnutí dvou tranzistorů v můstku mimo diagonálu je využito bipolárního tranzistoru. Tento tranzistor Q1 je v zapojení se společným emitorem a pokud jsou otevřeny unipolární tranzistory T1 a T4, tak bipolární tranzistor Q1 má propustně polovaný přechod mezi B a E. Když v tomto okamžiku bude přiveden signál na tranzistory T2 a T3, tak tranzistor Q1 tento signál svede na zem. Další bipolární tranzistory u můstku z unipolárních tranzistorů slouží k rychlému odvedení náboje nahromaděného vlivem kapacity elektrod G unipolárních tranzistorů a tím umožňují jejich rychlé spínání. K ochraně tranzistorů v můstku je využit transil, který je schopen případné rychlé vysokonapěťové špičky způsobené spínáním stejnosměrného motoru odfiltrovat.

K signalizaci stavu celého zařízení slouží 3 LED diody. Zelená signalizuje připojené napájecí napětí, žlutá slouží k signalizaci rizikového stavu a červená k signalizaci poruchového stavu, který vyžaduje zásah obsluhy. Pro potřeby odlaďování řídicího programu byl využit potenciometr, který byl připojen pomocí konektoru na pin analogově/digitálního převodníku. K odstranění rušivých signálů slouží jednoduchý RC filtr. Převodník je také využit k převedení signálu ze snímacího enkodéru. Digitální signál z enkodéru je pomocí jednoduchého RC článku převeden na analogový pro plynulejší pohyb scény při cvičné jízdě. Opět je použit jednoduchý RC filtr k odfiltrování rušivých signálů u vstupu mikrokontroléru.

V rámci bakalářské práce byla vytvořena deska plošného spoje pro celou řídicí jednotku tvořenou mikrokontrolérem, převodníky napěťových úrovní, výkonovými budiči, napájecími obvody a tranzistorovým můstkem. Magnetický rotační enkodér je na další desce plošného spoje. Z důvodu velkého ztrátového výkonu unipolárních tranzistorů a napěťového měniče jsou tyto součástky připevněny k chladiči. Jako chladič byl zvolen stříbrný chladič 205A/30, který je umístěn u vrchního okraje desky plošného spoje a je vodivě spojen se zemí napájecího zdroje.

Po vytvoření desky, jejím osazením a oživením byl vytvořen řídicí program v jazyce C prostřednictvím AVR studia. Pro potřeby odlaďování programu byl místo PC trenažéru použit

potenciometr pro nastavování požadované polohy a druhý potenciometr pro nastavování signálu ze snímače. Dále byl použit stejnosměrný motorek pro indikaci otáčení a změny rychlosti otáčení v závislosti na velikosti odchylky.

Pro ovládání otáčení motoru byly vytvořeny cykly s porovnáváním velikosti napětí ze snímače a PC (potenciometru) a podle jejich velikostí byl udán směr otáčení motoru. Aby se zabránilo nepříjemnému kmitání sedačky při velmi malých výchylkách, byla použita hystereze kolem hodnoty napětí ze snímače. Touto hysterezí je vymezena oblast napětí snímaných snímačem, které se budou rovnat hodnotě signálu z PC trenažeru (potenciometru). Pro změnu rychlosti otáčení motoru v závislosti na velikosti odchylky napětí snímače a PC (potenciometru) byla globálně deklarována proměnná rychlost. Tato rychlost byla ještě upravena dělením o strmost, která má zabránit prudkým mechanickým rázům rotoru motoru při změnách směru otáčení. Softwarově byla hodnota rychlosti omezena vytvořením omezovače rychlosti, protože její hodnota je vkládána do spodního bitu registru OCR1A případně OCR1B, v závislosti na směru otáčení a omezovač má za úkol zabránit přetečení tohoto registru.

Při rovnosti hodnot napětí ze snímače a PC (potenciometru) je využito brzdění motoru pomocí současného sepnutí tranzistorů T2 a T4 a tento stav je indikován prostřednictvím žluté LED diody. Další stav, který signalizuje tato dioda je při současném sepnutí tranzistorů T1 a T3, když se na obě výstupní svorky dostane kladné napětí. Při nejhorším stavu, který může v daném zařízení nastat, kterým je sepnutí tranzistorů mimo diagonálu je rozblikána červená LED dioda, odpojen signál PWM a následně odpojeny všechny piny portu C a D, které jsou využity pro ovládání tranzistorů v můstku. Tento stav vyžaduje zásah obsluhy a celý obvod musí být resetován.

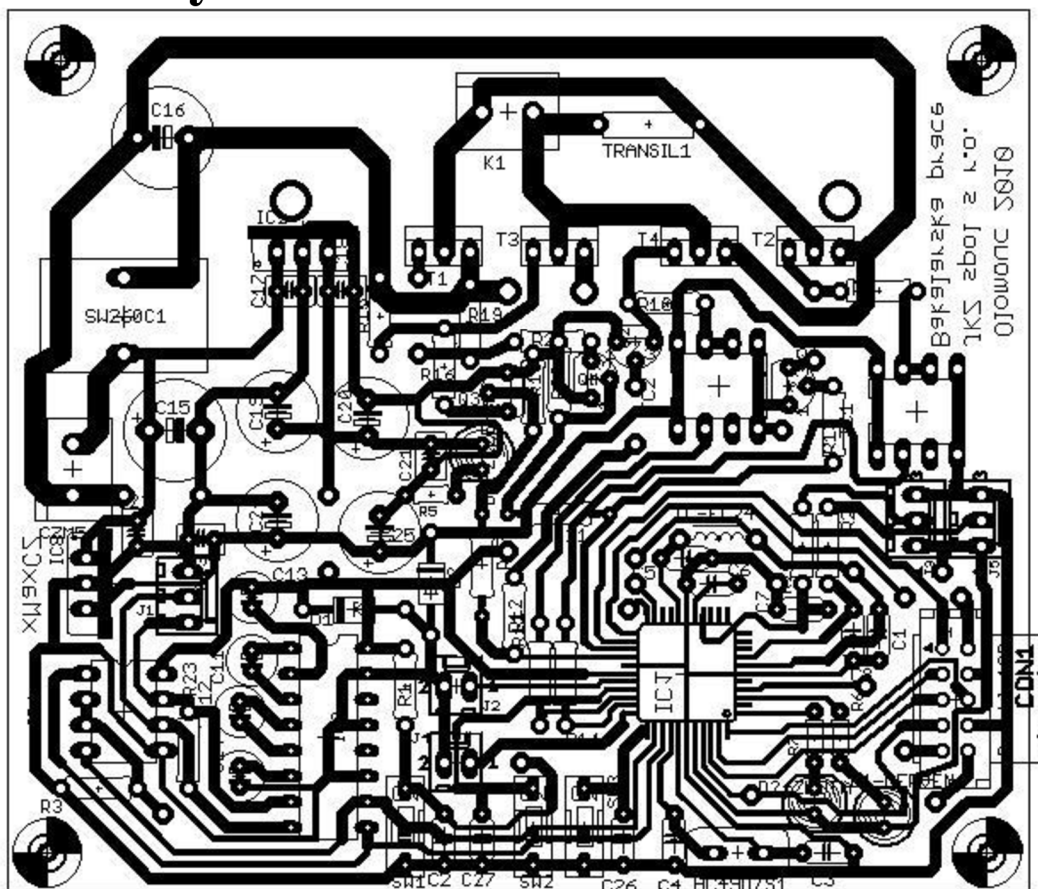
Výstupní data jsou vysílána v burstech o velikosti 35 bitů. Burst obsahuje 8 bitovou hlavičku, 8 bitový povel, který slouží pro softwarové zapnutí nebo vypnutí naklápění a polohu, která udává požadovanou polohu naklopení. V dalších 10 bitech je přenášena požadovaná hodnota naklopení, která je porovnávána s hodnotou ze snímače. Ochrana přenášených dat proti chybě při přenosu je provedena cyklickým redundantním kódem 9. stupně.

U sériové komunikace, kdy je použito rozhraní RS232 nesmí být připojen rezistor R23, který slouží k impedančnímu přizpůsobení pro rozhraní RS485. Aby bylo možno mít obě rozhraní na jednom čipu, tak musí být použit přepínač mezi těmito rozhraními, který zajistí připojení nebo odpojení tohoto rezistoru R23, protože nestačí vybrat rozhraní ke komunikaci pouhým vložením převodníku napěťových úrovní do patřičné patice.

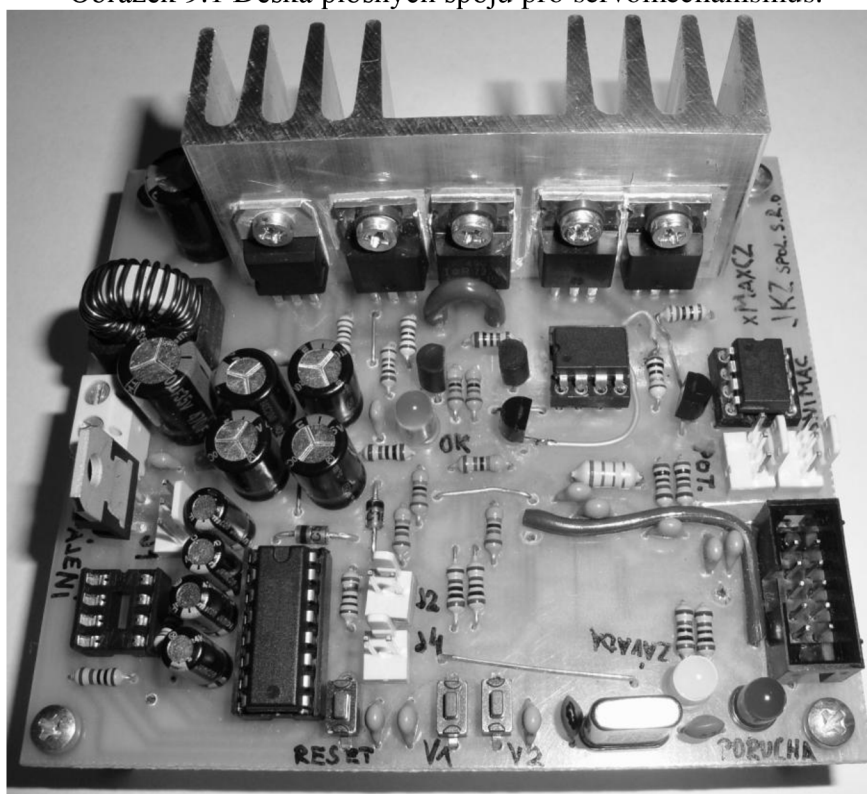
9. Literatura

- [1] Atmel Corporation, *Datasheet pro ATmega16* [online].
Dostupný z WWW: <www.atmel.com>.
- [2] Austriamicrosystems, *Datasheet pro magnetický rotační enkodér AS5040* [online].
Dostupný z WWW: <www.austriamicrosystems.com>.
- [3] Frýza, T., *Řízení sériové komunikace, přednáška číslo 7* [online]. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 46s.
Dostupný z WWW:
<https://www.vutbr.cz/studis/student.phtml?gm=gm_detail_predmetu&apid=86265 >.
- [4] Sipex Corporation, *Datasheet pro napěťový převodník ST485N1* [online].
Dostupný z WWW: <www.alldatasheet.com>.
- [5] Texas Instruments, *Datasheet pro duální RS–232 přijímač/vysílač MAX232* [online].
Dostupný z WWW: <www.ti.com>.
- [6] Microchip Technology Incorporated, *Datasheet pro výkonový budič TC429* [online].
Dostupný z WWW: <www.microchip.com>.
- [7] Wing Shing International Group, *Datasheet pro napěťový regulátor 78L12Z* [online].
Dostupný z WWW: <www.wingshing.com>.
- [8] Fairchild Semiconductor Corporation, *Datasheet pro napěťový regulátor 78051* [online].
Dostupný z WWW: <www.fairchildsemi.com>.
- [9] EZK – Elektronika Zdeněk Krčmář, *Elektronické součástky, stavebnice a moduly 2007* [online].
Dostupný z WWW: <www.ezk.cz>.
- [10] TDK Lambda, *Sortiment nabídky TDK Lambda*, 2009, 27stran.
- [11] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J., *Fyzika: část I Mechanika*. Brno: nakladatelství VUTIUM, 2000. 328 stran. ISBN 80-214-1869-9.
- [12] Vojáček, A., *Základní informace o RS-485 a RS-422 pro každého* [online].
Dostupný z WWW: < <http://automatizace.hw.cz/zakladni-informace-o-rs-485-rs-422-pro-kazdeho> >.
- [13] JKZ s. r.o., *Sortiment nabídky JKZ s.r.o.*, 2009, 2strany.
Dostupný z WWW: < <http://www.jkzsim.cz> >.
- [14] Mann, B., *C pro mikrokontroléry*. BEN – technická literatura, Praha 2003. 280 stran. ISBN 80-7300-077-6.

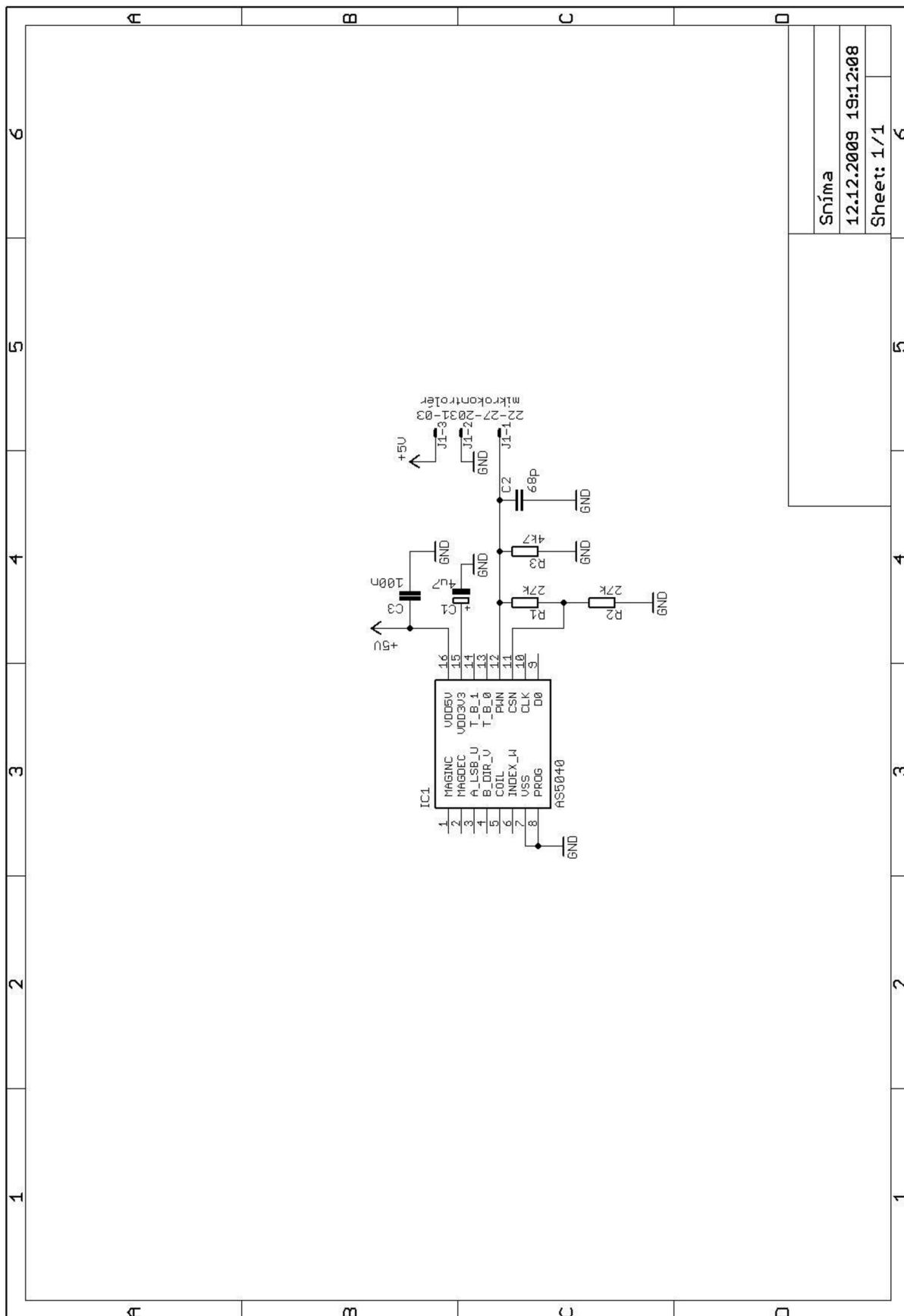
10. Přílohy



Obrázek 9.1 Deska plošných spojů pro servomechanismus.



Obrázek 9.2 Realizace servomechanismu.



Sníma	
12.12.2009 19:12:08	
Sheet: 1/1	

Obrázek 2. Schéma zapojení rotačního magnetického enkodéru

Seznam součástek

Servomechanismus

Exported from Schéma.sch at 18.5.2010 9:41:17

EAGLE Version 5.7.0 Copyright (c) 1988-2010 CadSoft

Part	Value	Device	Package
C1	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044
C2	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044
C3	22p	C-EU050-024X044	C050-024X044
C4	22p	C-EU050-024X044	C050-024X044
C5	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044
C6	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044
C7	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044
C8	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044
C11	1uF	CPOL-EUE2-5	E2-5
C12	1uF	CPOL-EUE2-5	E2-5
C13	1uF	CPOL-EUE2-5	E2-5
C14	1uF	CPOL-EUE2-5	E2-5
C15	470u/35V	CPOL-EUE5-10.5	E5-10,5
C16	470u/35V	CPOL-EUE5-10.5	E5-10,5
C17	100n	C-EU025-030X050	C025-030X050
C18	100n	C-EU025-030X050	C025-030X050
C19	470u/16V	CPOL-EUE3.5-8	E3,5-8
C20	470u/16V	CPOL-EUE3.5-8	E3,5-8
C21	100n	C-EU025-030X050	C025-030X050
C22	100n	C-EU025-030X050	C025-030X050
C23	100n	C-EU025-030X050	C025-030X050
C24	470u/16V	CPOL-EUE3.5-8	E3,5-8
C25	470u/16V	CPOL-EUE3.5-8	E3,5-8
C26	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044
C27	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044
CON1	MLW10	CON10	CON10
CZM5/1	NAPAJENI	CZM/5	CZM5/2
D1	BZX85	ZPY	DO41Z10
D1-CERVENA	L5RED4200	LED5MM	LED5MM
D2	BZX85	ZPY	DO41Z10
D2-ZLUTA	L1503YD	LED5MM	LED5MM
D3-ZELENA	LED5G	LED5MM	LED5MM
HC49U/S1	14,7456MHz	HC49U/S	HC49U/S
IC1	MEGA16-A	MEGA16-A	TQFP44
IC2	7805TV	7805TV	TO220V
IC3	MAX232	MAX232	DIL16
IC4	ST485N1	ST485N	DIP8
IC8	78L12Z	78XXS	78XXS
J1	PSH02-03P	22-27-2031-03	6410-03
J2	PSH02-02P	22-27-2021-02	6410-02
J3	PSH02-03P	22-27-2031-03	6410-03
J4	PSH02-02P	22-27-2021-02	6410-02
J5	PSH02-03P	22-27-2031-03	6410-03
K1	CZM5/2	CZM/5	CZM5/2
Q1	BC547A	BC547A	TO92
Q2	BC547A	BC547A	TO92
Q3	BC337	BC337	TO92
Q4	BC337	BC337	TO92
R1	10k	R-EU_0207/7	0207/7
R2	1k	R-EU_0207/7	0207/7
R3	10k	R-EU_0207/7	0207/7
R5	1k	R-EU_0204/5	0204/5

R6	1k	R-EU_0204/5	0204/5
R7	1k	R-EU_0204/5	0204/5
R9	150R	R-EU_0207/7	0207/7
R10	150R	R-EU_0207/7	0207/7
R11	1k	R-EU_0207/10	0207/10
R12	4k7	R-EU_0207/7	0207/7
R13	4k7	R-EU_0207/7	0207/7
R14	1k	R-EU_0207/10	0207/10
R15	2k2	R-EU_0207/7	0207/7
R16	1k	R-EU_0207/7	0207/7
R17	4k7	R-EU_0207/10	0207/10
R18	4k7	R-EU_0207/7	0207/7
R19	2k2	R-EU_0207/7	0207/7
R20	1k	R-EU_0207/7	0207/7
R21	4k7	R-EU_0207/10	0207/10
R22	4k7	R-EU_0207/7	0207/7
R23	120R	R-EU_0207/7	0207/7
R26	1k	R-EU_0207/7	0207/7
SW1	RESET	SW_DIP-1	EDG-01
SW2	VOLBA2	SW_DIP-1	EDG-01
SW3	VOLBA1	SW_DIP-1	EDG-01
SW260C1		SW260C	SW260C
T1	IRF 5210	IRF5210	IRF5210
T2	IRF8010	IRF8010	IRF8010
T3	IRF5210	IRF5210	IRF5210
T4	IRF8010	IRF8010	IRF8010
TC1		TC429	TC429
TC2		TC429	TC429
TL-EC24	330uH	TL-EC24	TL-EC24
TRANSIL1	1,5KE36CA	TRANSIL	DO-201
CHLADIČ		CHL205A/30	

Snímač

Exported from Snímač.sch at 13.12.2009 12:59:39

EAGLE Version 5.4.0 Copyright (c) 1988-2009 CadSoft

Part	Value	Device	Package
C1	4u7	CPOL-EUE5-5	E5-5
C2	68p	C-EU050-024X044	C050-024X044
C3	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044
IC1	AS5040	AS5040	SSOP16
J1	22-27-2031-03	22-27-2031-03	6410-03
R1	27k	R-EU_0207/7	0207/7
R2	27k	R-EU_0207/7	0207/7
R3	4k7	R-EU_0207/7	0207/7