

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

ŘÍZENÍ STEJNOSMĚRNÉHO MOTORU POMOCÍ PLC SIMATIC S7 -200.

DC MOTOR CONTROL BY PLC SIMATIC S7-200.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER`S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PAVEL NEKULA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. TOMÁŠ MARADA, PH.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Pavel Nekula

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902T001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Řízení stejnosměrného motoru pomocí PLC Simatic S7-200

v anglickém jazyce:

DC motor control by PLC Simatic S7-200.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem této práce je vytvořit laboratorní úlohu pro řízení stejnosměrného komutátorového motoru. Řízení bude realizováno programovatelným automatem Simatic S7-200. Nezbytnou součástí bude návrh a realizace elektroniky pro připojení elektromotoru k PLC. Dalším krokem bude vizualizace na panelu HMI.

Cíle diplomové práce:

- 1) Seznamte se s principem řízení stejnosměrných motorů.
- 2) Proved'te návrh a realizaci elektroniky pro připojení elektromotoru k PLC.
- 3) Seznamte se s programovatelnými automaty S7-200
- 4) Seznamte se s operátorským panelem GOT1000 fy Mitsubishi.
- 5) Proved'te návrh a realizaci programového vybavení pro polohovou a rychlostní regulaci motoru.
- 6) Proved'te vizualizaci na panelu GOT1000.

Seznam odborné literatury:

- [1] Firemní materiály o PLC fy Siemens S7-200.
- [2] Firemní materiály o HMI fy Mitsubishi GOT1000.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 10.10.2008

L.S.

doc. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá propojením stejnosměrného motoru s programovatelným automatem Simatic S7-224XP za účelem řízení polohy natočení a rychlosti otáčení stejnosměrného motoru.

Hlavním cílem diplomové práce bylo navrhnout a zhotovit modul pro spojení stejnosměrného motoru a programovatelného automatu. Dalším cílem bylo zhotovit programové vybavení pro tento modul a programovatelný automat. Posledním úkolem byla vizualizace úlohy pomocí dotykového displeje, na kterém budou zadávány a monitorovány hodnoty polohy natočení a rychlosti otáčení motoru.

ABSTRACT

Diploma thesis deal with connection of DC motor with programmable logic controller Simatic S7 – 224XP in order to attitude control turning and rotation speed of DC motor.

Major goal of diploma thesis was to suggest and develop module for connection of DC motor with programmable automatic machine. Further goal was to make a programmatic equipment for this modulus and programmable controller. Final task was visualization exercise by the help of touch screens, on which will be set and monitor values of position turning and rate of swelling of engine speed.

KLÍČOVÁ SLOVA

PLC, motor, řízení, regulátor, Simatic, S7-200, Siemens, ATmega16.

KEYWORDS

PLC, motor, control, regulátor, Simatic, S7-200, Siemens, ATmega16.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NEKULA, P. *Řízení stejnosměrného motoru pomocí PLC Simatic S7-200*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 87 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci Řízení stejnosměrného motoru pomocí programovatelného automatu vypracoval samostatně pod vedením Ing. Tomáše Marady, Ph.D. s využitím materiálů uvedených v seznamu použité literatury.

Dne 25. 5. 2009

Pavel Nekula

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat všem, kteří mi byli nápomocní při zhotovování diplomové práce. Především děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Tomášovi Maradovi, Ph.D. za cenné rady a pomoc při návrhu a výrobě modulu pro řízení stejnosměrného motoru pomocí PLC. Dále bych mu chtěl poděkovat za to, že vždy, pokud se vyskytl pro mě v té chvíli neřešitelný problém, dokázal poradit a daný problém i několikrát osvětlit.

V neposlední řadě bych ještě rád poděkoval Doc. Ing. Zdeňku Němcovi, CSc. za pomoc při navrhování elektroniky modulu pro řízení motoru a za pomoc při seřizování regulátorů polohy a rychlosti. Dále pak i za to, že byl vždy ochoten poradit při řešení některých problémů.

Pavel Nekula

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

PLC	Programmable Logic Controller
PA	Programovatelný automat
STL	Statement List
LAD	Ladder Logic
FBD	Function Block Diagram
MIPS	Millions Instructions Per Second
RISC	Reduced Instruction Set Computer
PWM	Pulse width modulation
DSP	Digitální signálový procesor
MCU	Microcontroller
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
DMOS	Diffused Metal Oxid Semiconductor
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
USART	Universal Synchr. and Asynchr. Receiver and Transmitter
SPI	Serial Peripheral Interface
EAGLE	Easily Applicable Graphical Layout Editor
STN	Super Twisted Nematic
USB	Universal Serial Bus
HMI	Human Machine Interface

OBSAH

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	3
ABSTRAKT.....	5
PROHLÁŠENÍ.....	7
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	9

Část A – Teoretická část

1 ÚVOD.....	13
2 POPIS ÚLOHY A ROZBOR PROBLÉMU.....	15
3 TEORETICKÝ ROZBOR PRVKŮ LABORATORNÍ ÚLOHY	17
3.1 PLC Simatic S7-224XP	17
3.1.1 Popis prvků automatu S7-224XP.....	18
3.2 Stejnosměrný motor	19
3.2.1 Volba stejnosměrného motoru.....	19
3.2.2 Princip stejnosměrného motoru	19
3.2.3 Způsoby řízení otáček stejnosměrného motoru	20
3.2.4 Způsob regulace stejnosměrného motoru.....	22
3.3 Optický inkrementální snímač.....	23
3.4 Výkonový obvod L6203	25
3.5 Řídící obvod L6506	26
3.6 Mikrořadič ATmega 16.....	27
3.6.1 Volba mikrořadiče	27
3.6.2 Charakteristika a vlastnosti mikrořadiče	27

Část B – Praktická část

4 MODUL PRO ŘÍZENÍ STEJNOSMĚRNÉHO MOTORU POMOCÍ PLC ...	29
4.1 Popis blokového schématu modulu pro řízení motoru	29
4.2 Popis jednotlivých částí schématu řídicího modulu	30
4.2.1 Zapojení mikrořadiče	30
4.2.2 Regulační smyčka proudu	32
4.2.3 Regulační smyčka rychlosti.....	34
4.2.4 Regulační smyčka polohy	34
4.2.5 Možnosti řízení motoru pomocí PLC.....	35
4.2.6 Převod hodnot z IRC snímače	36
4.3 Programování mikrořadiče ATmega 16.....	37
4.3.1 Popis programu	37
4.4 Návrh desky plošného spoje.....	41
4.5 Provedení modulu pro řízení stejnosměrného motoru.....	41
4.6 Problémy spojené s oživováním modulu	42
5 DOTYKOVÝ DISPLEJ GOT 1155 A JEHO OVLÁDÁNÍ	45
5.1 Charakteristika a vlastnosti dotykového displeje GT 1155-QSBD	45
5.2 Vývojové prostředí GT Designer 2.....	46
5.3 Ovládání stejnosměrného motoru pomocí dotykového displeje	48

6	ZAPOJENÍ PLC A JEHO PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ	53
6.1	Výběr automatu	53
6.2	Zapojení automatu	53
6.3	Programové vybavení automatu a popis vývojového diagramu programu ...	54
6.3.1	Popis hlavního programu	55
6.3.2	Popis podprogramu SBR_0	57
6.3.3	Popis programu pro přerušení 0	58
6.3.4	Popis programu pro přerušení 1	61
6.4	Softwarová realizace PSD algoritmu	62
6.5	Seřízení regulátorů	64
6.5.1	Nastavení regulátoru rychlosti	64
6.5.2	Nastavení regulátoru polohy	67
7	ZÁVĚR	71
	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	73
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	75
	SEZNAM PŘÍLOH	77

Část A – Teoretická část

1 ÚVOD

Pojem automatizace lze chápat jako obor, jenž v poslední dekádě zaznamenal raketový vzestup především ve výrobních podnicích, ale také jako obor, který se postupně integruje do běžného života lidí. Možná Vás napadne, proč tomu tak je? Důvod je poměrně zřejmý a pochopitelný. Továrny a výrobní podniky jsou v dnešní době z velké části pokryty určitou technologií od různých společností. Tyto společnosti zabývající se výrobou automatizační a řídicí techniky se snaží aplikovat své prvky v mnoha dalších odvětvích, a proto se můžeme potkat s programovatelným automatem v domácnosti, kde řídí vytápění, osvětlení, zabezpečení nebo například závlahu přilehlých travnatých ploch. Osobně mě ani nepřekvapilo, když jsem při vstupu do hokejové arény procházel přes turniket, který byl řízen právě programovatelným automatem.

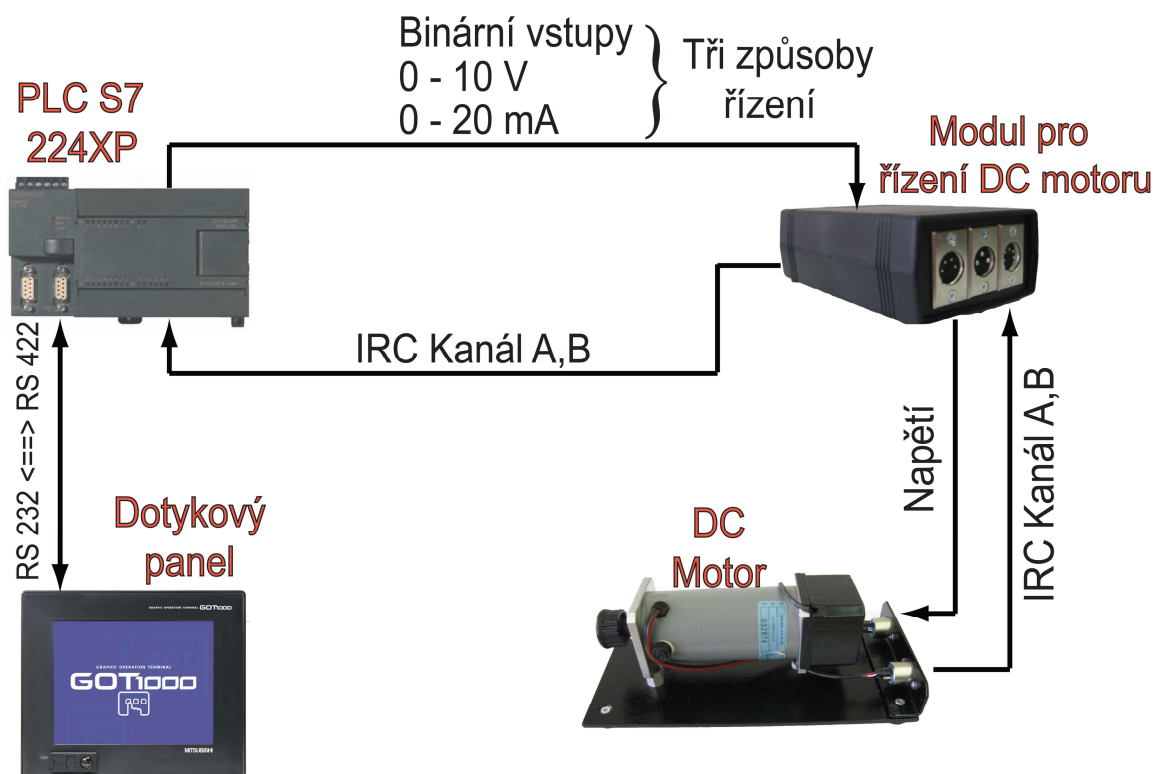
Pro řízení programovatelným automatem je třeba zhotovit program, jenž bude svým rozsahem kompletně pokrývat všechny požadavky pozdějšího uživatele. Pro dokonalé pochopení všech znalostí a důležitých poznatků z oblasti programovatelných automatů je nutné projít kvalitním kurzem, ve kterém bude pozdější programátor obeznámen se všemi možnými způsoby programování automatu a okruhy, kde se může programovatelný automat uplatnit. Programátor nejlépe pochopí dané složitosti a principy na jednoduchých příkladech. V laboratoři programovatelných automatů jsou posluchači nejdříve seznámeni s vlastnostmi příslušného automatu, posléze se snaží za pochodu aplikovat získané znalosti na jednoduchých příkladech. Začíná se u EDU modulů, což jsou velmi názorné příklady obsluhy křížovanky, pračky a mísící jednotky. Je zapotřebí, aby pozdější programátor poznal co nejvíce různorodých aplikací s programovatelným automatem, a proto úkolem mé diplomové práce bylo navrhnout a zhotovit laboratorní úlohu, v níž bude stejnosměrný motor řízen pomocí programovatelného automatu. V této úloze se student seznámí jak s programovatelným automatem a jeho programováním, tak i s regulací, kterou teoreticky zná z předešlých předmětů a prakticky ji bude moci aplikovat na této úloze. Dále se seznámí s dotykovými displeji, jejich programováním a ovládáním při zavádění jednoduché aplikace.

Cíl mé diplomové práce je tedy zřejmý. Prvotně se seznámit s možnostmi řízení stejnosměrných motorů a posléze navrhnout robustní řešení ve formě modulu, díky kterému bude programovatelný automat spojen se stejnosměrným motorem. Po seznámení se s programovatelným automatem a dotykovým displejem je třeba zhotovit programové vybavení pro programovatelný automat, jenž bude obsluhovat polohovou a rychlostní regulaci motoru. Dále je potřeba zhotovit program pro mikrořadič řídicí veškeré operace, které jsou na modul nárokovány od programovatelného automatu. Posledním stanoveným úkolem pro laboratorní úlohu je návrh a realizace grafického prostředí pro dotykový displej.

2 POPIS ÚLOHY A ROZBOR PROBLÉMU

Na obr.1 je znázorněno blokové schéma laboratorní úlohy pro řízení stejnosměrného motoru programovatelným automatem. Požadované hodnoty rychlosti otáčení a polohy natočení motoru jsou zadávány pomocí dotykového displeje, který je s programovatelným automatem spojen pomocí sériové linky, kdy při komunikaci dochází k převodu RS-232 od dotykového displeje na RS-422 k programovatelnému automatu a naopak. Na dotykovém displeji můžeme monitorovat a posléze i měnit parametry nastavení regulátoru jak u rychlostní regulace, tak i u regulace polohové. Dále zde můžeme sledovat chování akční veličiny a regulační odchylky v závislosti na žádané hodnotě rychlosti otáčení nebo natočení motoru.

Motor je možno ovládat třemi možnými způsoby. První a nejvíce používaný způsob je pomocí binárních výstupů programovatelného automatu. Na vstup modulu je posílána osmibitová hodnota spolu s dalším bitem, který udává směr otáčení motoru. Na vstupu modulu jsou jednotlivé bity upraveny z log.1 typické pro automat na log.1, jež je přivedena na vstup mikrořadiče. Jde tedy o snížení napětí z 24 V na 5 V. Další způsob, pomocí kterého lze motor řídit, je pomocí analogových výstupů programovatelného automatu. Byl použit jak napětíový, tak proudový výstup. U napětíového výstupu je na vstup modulu posílána hodnota 0 - 10 V, která je dále upravena a přivedena na vstup A/D převodníku na mikrořadiči. U proudového výstupu je na vstup modulu posílána hodnota 0 - 20 mA. Tato hodnota je následně převedena na napětí 0 - 5 V a po další úpravě přivedena opět na vstup A/D převodníku na mikrořadiči. Volba zadávání hodnot je dána zvolenou variantou na dotykovém displeji a v neposlední řadě i jumpery, které jsou připojeny k mikrořadiči a v závislosti na vybraném jumperu je zvolena volba zadávání hodnot.



Obr. 1 Blokové schéma laboratorní úlohy

Stejnoseměrný motor nelze ovládat přímo pomocí programovatelného automatu, ale přes modul, kde hlavní roli zastává mikrořadič ATmega16. Mikrořadič řídí a vyhodnocuje veškeré operace, jež jsou na modul nárokovány od automatu a v závislosti na vstupní akční veličině rychlosti, která, jak už bylo výše popsáno, je zadávána třemi možnými způsoby, generuje PWM signál, jenž spolu s dalšími řídicími signály přivádí na vstup řídicího obvodu L6506, který s výkonovým obvodem L6203 obsluhuje regulaci proudu motorem. PWM signál je na vstup obvodu L6506 přiveden jako žádaná hodnota proudu motorem.

V programovatelném automatu probíhá softwarová regulace rychlosti otáčení a polohy natočení motoru a v modulu dochází již k zmíněné hardwarové regulaci proudu (kroutícího momentu) pomocí řídicího obvodu L6506 a výkonového obvodu L6203 od společnosti SGS Thomson. Jde tedy o kombinaci tří regulačních smyček, kde rychlostní smyčka pracuje nad proudovou smyčkou a polohová smyčka pracuje nad smyčkou rychlostní. Žádanou hodnotu proudu vypočítává regulátor rychlosti, žádanou hodnotu rychlosti vypočítává regulátor polohy, jehož vstupem je poloha z IRC snímače, který je umístěn na hřídeli motoru.

3 TEORETICKÝ ROZBOR PRVKŮ LABORATORNÍ ÚLOHY

3.1 PLC Simatic S7-224XP

Simatic S7-200 je řada programovatelných automatů určených k řízení jednoduchých aplikací v oblasti automatizace. Programovatelný automat sleduje stav vstupů a podle uživatelského programu řídí výstupy. Uživatelský program může obsahovat čítače, časovače, přerušení, složité matematické operace a komunikaci s jinými inteligentními zařízeními jako je třeba dotykový displej. Kompaktní design, flexibilní konfigurace, výkonný instrukční soubor a v neposlední řadě i rozumná cena jsou důvody, proč jsou programovatelné automaty od společnosti Siemens jedny z nejrozšířenějších automatů po celém světě a proč právě společnost Siemens udává tempo v této průmyslové oblasti. [8]

Mezi hlavní výhody zvoleného automatu patří:

- Malý a kompaktní design,
- výkonná instrukční sada stejná pro všechny procesory řady S7-200,
- systém časových přerušení a přerušení od událostí,
- vysokorychlostní čítače a pulzní vstupy,
- rozšíření vstupů a výstupů.

Zvolený automat Simatic 224XP vychází z jednotky Simatic 224. Má dva integrované komunikační porty pro spojení PLC do komunikačních sítí, připojení PC, HMI nebo jiného zařízení komunikujícího po sériové lince. K dispozici je také PID regulátor s adaptivním algoritmem pro jednoduché nastavení parametrů PID regulátoru. Dva integrované analogové vstupy ± 10 V DC s rozlišením dvanáct bitů jsou určeny pro připojení snímačů, jeden integrovaný analogový výstup ± 10 V DC nebo 0 - 20 mA s rozlišením dvanáct bitů slouží pro připojení analogových akčních členů. Velikost paměti pro uložení programu je 16 kB. V paměti dat o velikosti 10 kB lze uchovávat např. měřené hodnoty z výrobního procesu nebo hodnoty, které jsou uchovány při běhu programu a posléze vyhodnoceny. Běh uživatelského programu je výrazně rychlejší než u starších verzí, a to konkrétně 0,22 μ s na instrukci. Vysokorychlostní čítač pro zpracování signálů s frekvencí až 200 kHz lze využít především pro přesné vyhodnocování polohy. Rozsah vstupního napětí CPU 224XP je 5 až 24 V DC. [8]

Základní vlastnosti Simatic S7-224XP:

- Integrované digitální vstupy/výstupy: 14 vstupů / 10 výstupů,
- maximální počet digitálních vstupů/výstupů : 94 vstupů / 82 výstupů,
- integrované analogové vstupy/výstupy : 2 vstupy / 1 výstup,
- maximální počet analogových vstupů/výstupů: 30 vstupů / 15 výstupů,
- paměť pro program: 12 KB / 16 KB,
- paměť pro data: 10 KB,
- integrovaný zdroj 24 V DC: max. 280 mA.

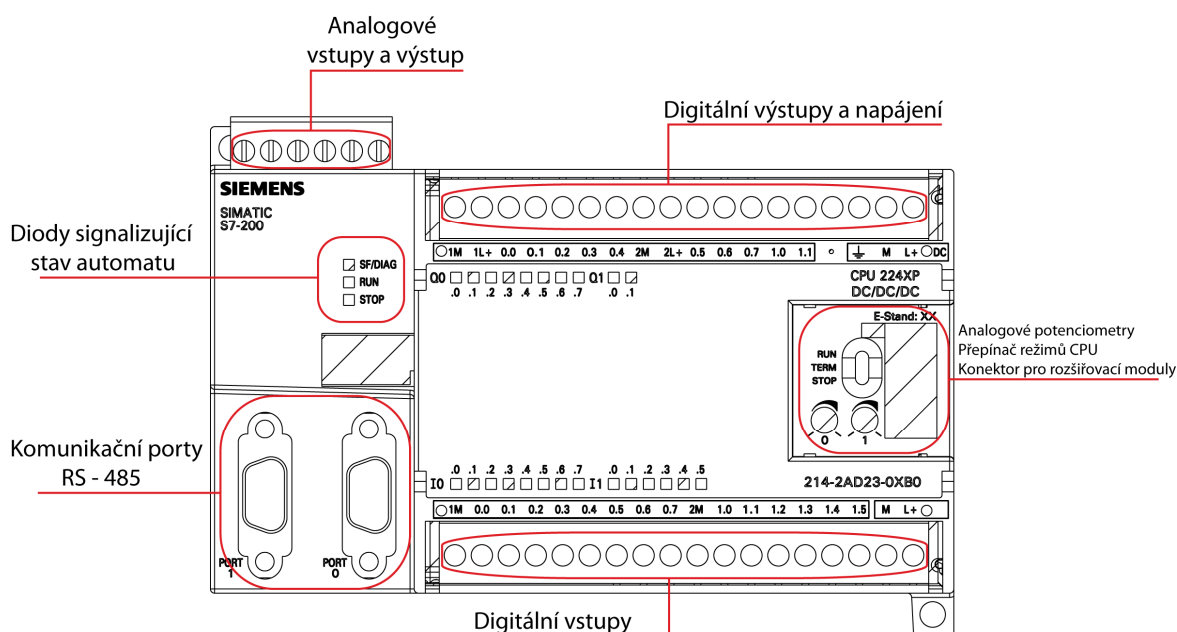
Aplikace automatu začínají u jednoduchých zařízení a sahají až po složité řídicí aplikace. Řada S7-200 se svou cenou dostává i do aplikací, kde bylo dříve nutné z finančních důvodů použít jednorúčelovou elektroniku. Vzhledem k vysokému výkonu je naopak nasazován často i pro komplexní řízení včetně možnosti komunikace a vizualizace. Společnost Siemens má výborně propracovanou hierarchii nasazování svých výrobků do provozu. Vede je k tomu poměrně jednoduchý klíč a dlouholeté zkušenosti s vytvářením aplikací v oblasti automatizace procesů. Tam, kde nestačí základní automat LOGO!, doporučuje nasadit řadu S7-200 a v případě, že i tato řada automatů nezvládne řídit požadovanou úlohu, doporučuje nasadit svoje nejvýkonnější automaty řady S7-300 / S7-400 pro střední a náročnější aplikace. [8]

Příklady aplikací automatů Siemens:

- Regulace hladiny,
- řízení osvětlení,
- řízení vrat a dveří,
- topení, klimatizace a chlazení,
- lisy, míchače a odsávací jednotky,
- čističky odpadních vod,
- dopravní systémy a výtahy,
- řízení motorů, polohování,
- dálková komunikace.

3.1.1 Popis prvků automatu S7-224XP

Na obr. 2 je znázorněn popis jednotlivých prvků programovatelného automatu Simatic S7-224XP.



Obr. 2 Simatic S7-224XP

3.2 Stejnosměrný motor

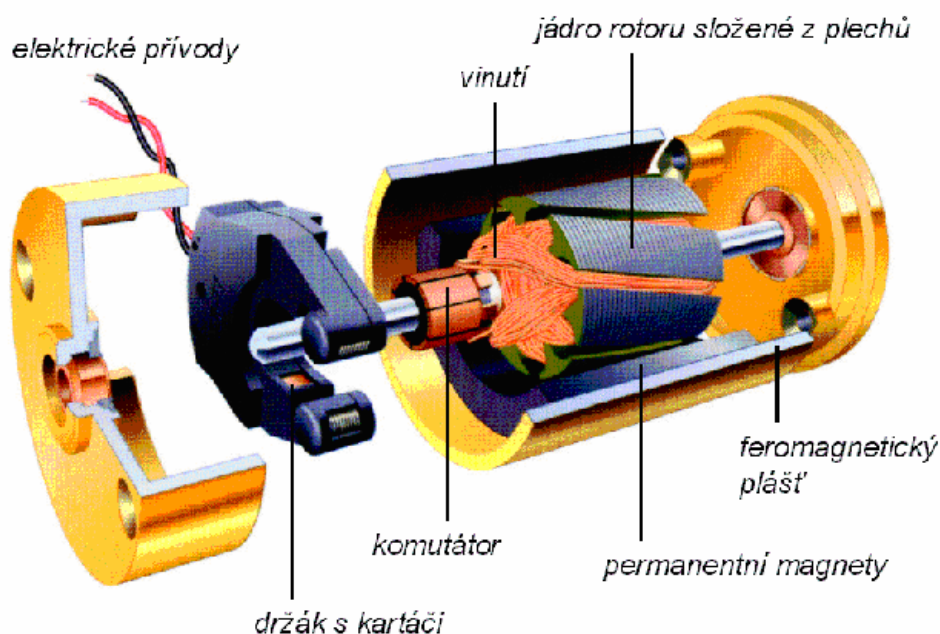
3.2.1 Volba stejnosměrného motoru

Motor, se kterým se bude pracovat v laboratorní úloze, není zcela nový. Podle dostupných informací byl použit u vysokokapacitních kopírovacích strojů. To ovšem není problém, protože v našem případě je důležité, aby byl funkční samotný motor a spolu s ním inkrementální snímač. Z dostupných informací dále plyne, že motor s permanentními magnety je napájen 24 V a maximální protékající proud je 2,2 A. Dále bylo zjištěno, že motor je schopen při plném výkonu kolem 2000 otáček za minutu na prázdko.

3.2.2 Princip stejnosměrného motoru

Stejnosměrný motor je tvořen ze statoru (pevná nepohyblivá část motoru), na němž se nachází hlavní póly s budícím vynutím a pomocné póly umístěné mezi hlavními póly pro zlepšení komutačních vlastností motoru. Současně je na motoru umístěn rotor (pohyblivá část motoru), který je složen z izolovaných křemíkových plechů, v jehož drážkách je vinutí. Jednotlivé cívky vinutí kotvy jsou připojeny k vzájemně izolovaným lamelám komutátoru. [3]

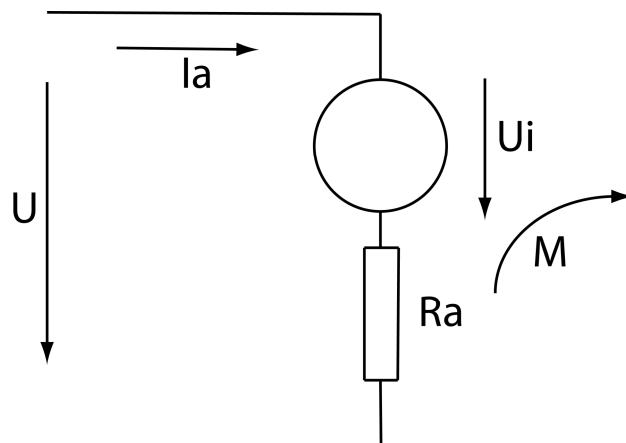
Komutace spočívá v přepínání toku proudu do jednotlivých sekcí vinutí v závislosti na poloze rotoru a statoru. Je realizována komutátorem, jenž je pevně připojen k hřídeli motoru. Komutátor je tvořen lamelami, na které doléhají dva kartáče umístěné proti sobě. Na kartáče je přivedeno napájecí napětí motoru. Lamely jsou mezi sebou vzájemně izolovány a spojeny s konci vinutí. Počet pólů motoru je určen počtem lamel, které se nachází na motoru. Průchodem proudu vinutím vzniká síla otáčící rotorem. Díky komutaci dochází k přepínání toku proudu do jednotlivých sekcí a tím je zajištěno plynulé otáčení rotoru. [3]



Obr. 3 Řez stejnosměrným motorem s permanentními magnety [15]

3.2.3 Způsoby řízení otáček stejnosměrného motoru

Při návrhu řízení jakéhokoli systému je nutné znát alespoň jeho přibližný matematický popis. Model stejnosměrného motoru, který je zobrazen na obr. 4, vychází ze základního zapojení každého stejnosměrného motoru a můžeme ho popsat matematickou rovnicí. Z této rovnice poté vyjádříme veličiny, jež mají vliv na chování motoru.



Obr. 4 Zjednodušený matematický model stejnosměrného motoru [18]

Popis členů matematického modelu:

- U Napájecí napětí,
- I_a Proud v obvodu kotvy,
- R_a Odpor kotvy motoru,
- U_i Indukované napětí kotvy,
- M Moment motoru.

Stejnoseměrný motor v ustáleném stavu lze popsat rovnicí:

$$U = U_i + R_a I_a = C\phi n + R_a I_a = C\phi n + \frac{R_a M}{C\phi} \quad (1)$$

- C Konstrukční konstanta motoru,
- Φ budící magnetický tok,
- n otáčky rotoru.

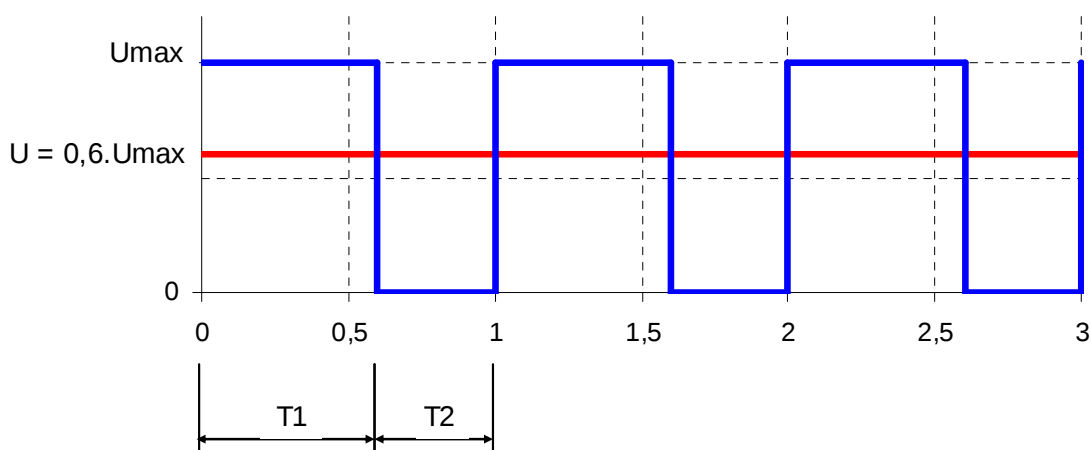
$$n = \frac{U}{C\phi} - \frac{R_a I_a}{C\phi} = \frac{U}{C\phi} - \frac{R_a}{(C\phi)^2} M \quad (2)$$

Jestliže upravíme rovnici (1) do tvaru dostaneme rovnici (2), ze které následně vyplývají tři možnosti řízení otáček. [1]

- Změnou odporu v elektrickém obvodu motoru,
- Změnou magnetického toku,
- Změnou napájecího napětí.

Z poslední zmíněné varianty plyne, že při změně napájecího napětí se změní i otáčky motoru. Toto je nejjednodušší způsob řízení otáček.

Druhou možností je řízení otáček pomocí PWM signálu, přičemž jde o rychlou změnu napájecího napětí přivedeného na motor. Pokud bude napájecí napětí opakovaně vypínáno a zapínáno, tak při dostatečně vysoké frekvenci tohoto spínání nebude motor tyto změny stačit sledovat a bude reagovat pouze na střední hodnotu přiváděného napětí. Rychlost otáčení bude potom úměrná napájecímu napětí U_{max} a poměru doby sepnutí a rozepnutí napájecího napětí T_1/T_2 . PWM signál má však tu nevýhodu, že se na svorkách zátěže objevuje napětí pouze jedné polarity. Tímto způsobem je tedy možné řídit pouze rychlost otáčení motoru, ale směr otáčení je pevně daný připojením zátěže k napájecímu napětí. [14]



Obr. 5 Princip PWM

Další z možností řízení otáček je pomocí H-můstku. Jako spínací prvky se v praxi často používají tranzistory. Vhodnou kombinací řídicích signálů přiváděných na spínací prvky lze dosáhnout toho, že na svorky zátěže bude přivedeno napájecí napětí jedné nebo druhé polarity. Tím je tedy možné řídit nejen rychlost, ale i směr otáčení. Při použití H-můstku musíme zařídit, aby nebyly v jeden okamžik sepnuty oba spínací prvky v jednom rameni můstku (např. S1 a S2). Došlo by ke zkratu a procházející proud by mohl zničit spínací tranzistory. [14]

K realizaci H-můstku je dostupná řada integrovaných obvodů. Nejjednodušší z nich obsahují jen H-můstek a budicí obvody uzpůsobené pro spínání tranzistorů v můstku vnějšími obvody s výstupy v úrovních TTL. Známým obvodem tohoto druhu je např. L293 od SGS Thomson. Jiné typy zahrnují i proudovou zpětnovazební smyčku, například obvod L6203 téhož výrobce, který se velmi často používá v kombinaci s řídicím obvodem L6506 od stejného výrobce. Této kombinace je využito v naší laboratorní úloze. [14]

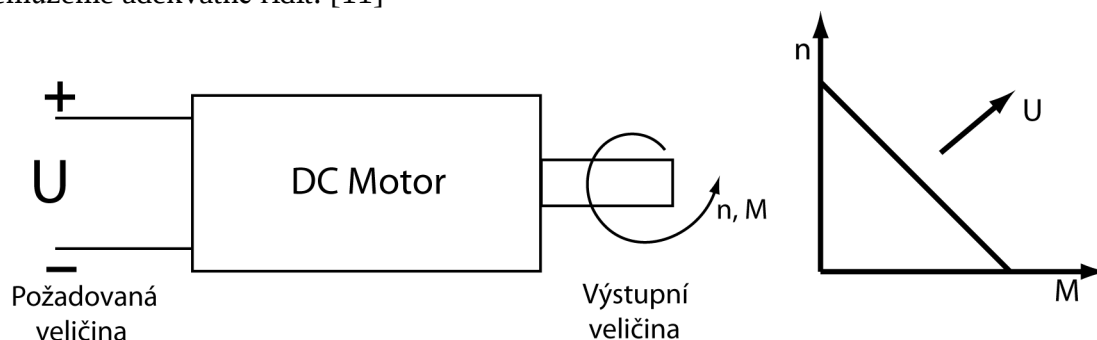
3.2.4 Způsob regulace stejnosměrného motoru

S množstvím různých typů a provedení motorů úzce souvisí i velké množství různých možných principů jejich řízení. V závislosti na druhu motoru a regulované veličině jsou pak do procesoru zavedeny různé zpětnovazební vstupy (např. z měření proudu nebo inkrementálního snímače), kterými je funkce regulačního algoritmu korigována a stabilizována.

Požadovanou veličinou jsou obvykle otáčky (rychlost) výstupního hřídele, dále pak například natočení (posun) nebo mechanický moment (síla).

Řízení rychlosti stejnosměrného motoru s otevřenou smyčkou

Na obr. 6 je znázorněn příklad aplikace otevřené řídicí smyčky pro stejnosměrný motor. Nejjednodušší napájení motoru je připojení stejnosměrného napětí zvolené polarity a velikosti přímo na vstupní svorky motoru. Napětí plní zároveň funkci žádané veličiny, neboť rychlost motoru bez zatížení je určena přímo napájecím napětím (při dostatečné rezervě momentu lze tak řídit některé typy motorů bez zavedení zpětných vazeb). Při zatížení motoru mechanickým momentem se sníží rychlost podle uvedené přímkové charakteristiky. Řízení rychlosti stejnosměrného motoru s otevřenou smyčkou má nevýhodu v tom, že nedostáváme žádné informace o stavu motoru a tím pádem ho nemůžeme adekvátně řídit. [11]

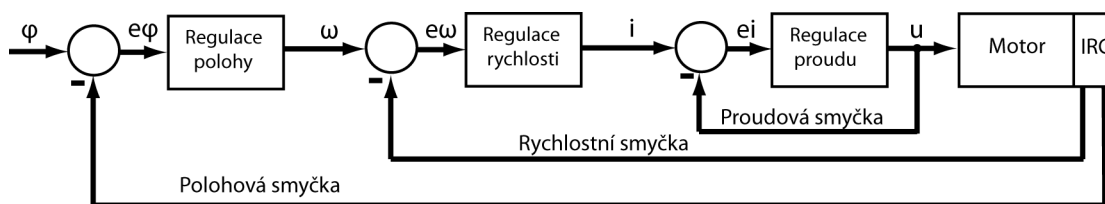


Obr. 6 Stejnosměrný motor napájený konstantním napětím

Řízení stejnosměrného motoru s uzavřenou smyčkou

Řídicí jednotka dostává díky zavedené zpětné vazbě informaci o stavu motoru. Snímače rychlosti nebo polohy motoru se připojují na hřídel motoru a vylučují tak ze zpětné vazby řídicí jednotky poddajnost a vůli převodovky.

Řídicí jednotka rychlosti může pracovat se signálem tachodynamy, který zajistí nejvyšší přesnost regulace nebo se signálem inkrementálního snímače s přesností závislou na hustotě dílků na přilehlém kotouči nebo bez snímače metodou měření proudu. [11]



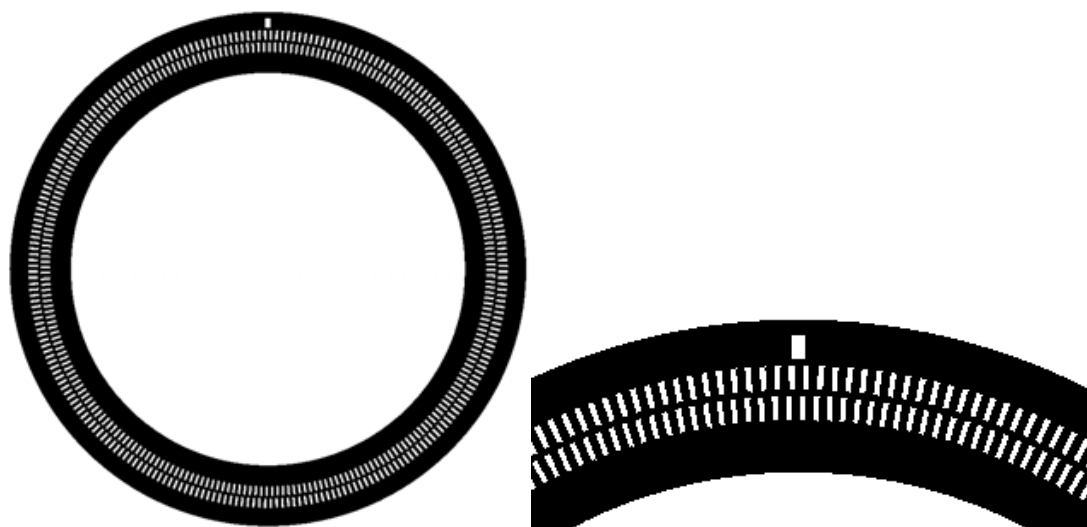
Obr. 7 Příklad proudové, rychlostní a polohové smyčky

3.3 Optický inkrementální snímač

Jak už bylo v kap. 3.2 zmíněno, motor není zakoupený jako nový. To znamená, že informace o jeho vlastnostech jsou velmi strohé a informace o samotném inkrementálním snímači nejsou žádné. Proto bylo experimentálním odečtem zjištěno, že snímací kotouč osazený na hřídeli, díky kterému jsou snímány otáčky, má 660 dílků.

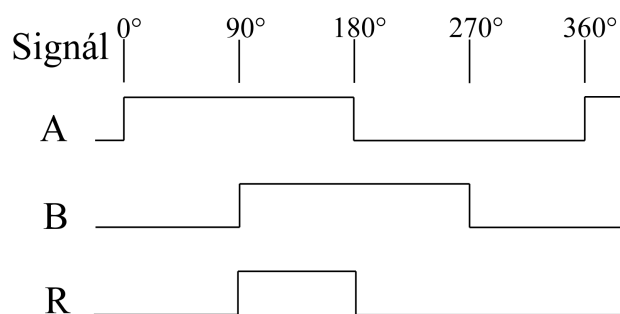
Inkrementální snímače jsou prioritně používány ve zpětnovazebních systémech řízení polohy, rychlosti a případně zrychlení v rozsahu aplikací od periferií počítačů přes průmyslovou robotiku po zdravotnickou techniku. [13]

Inkrementální snímače jsou typické svou vysokou rozlišovací schopností, malými rozměry a nízkou hmotností. Název inkrementální, je vzat z principu činnosti, založen na otáčivém mezikruží s pravidelně se střídajícími průhlednými a neprůhlednými ploškami. Na obr. 8 je zobrazen příklad kotouče umístěného u IRC snímače a jeho detail. Optické značky na obvodu kotouče tvoří vzor průhledných a neprůhledných plošek, které při otáčení kotouče přerušují světelný paprsek snímáný například fotodiodou nebo jiným snímačem. Napětí ze snímače je zpracováno komparační jednotkou a signál je dále tvarován jednoduchou TTL logikou pro zlepšení strmosti hran. Údaj o poloze je relativní, počet detekovaných impulsů udává změnu polohy. V praxi je po zapnutí napájení nutno inicializovat výchozí polohu například tak, že snímáný pohon dojede do referenční nebo výchozí polohy, což je detekováno jiným senzorem. Od tohoto okamžiku se počítá údaj z IRC snímače vztažený k referenční poloze. V tom může napomoci tzv. indexový signál (jeden impuls na otáčku), zde značen jako výstup IRC snímače R. Na rozdíl od absolutních senzorů polohy IRC snímače nemohou poskytnout úplnou informaci okamžitě po zapnutí. Další nevýhodou je možnost postupné akumulace chyb v údaji o poloze, pokud dojde k chybnému přečtení některé značky. Proto je vhodné občas opakovat návrat do referenční polohy i během provozu senzoru. [13]



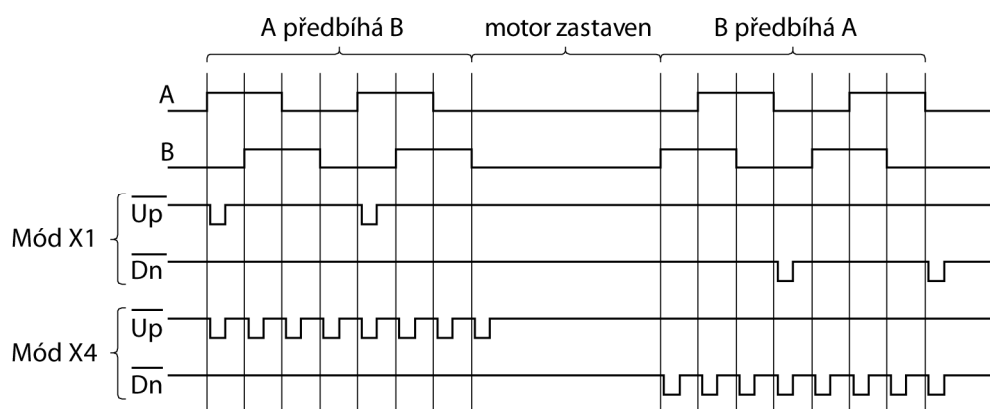
Obr. 8 Vzor snímacího kotouče

Konfigurace optických značek a snímačů je taková, že výsledné výstupní signály jsou vzájemně posunuty o čtvrtinu periody impulsního signálu. Ze vzájemného sledu náběžných hran výstupních signálů A a B lze rozlišit směr otáčení, viz. obr. 9. Pokud signál A předbíhá signál B, kotouč se otáčí jedním směrem. Pokud signál B předbíhá signál A, kotouč se otáčí opačným směrem. Indexový signál R udává jeden impuls za otáčku.



Obr. 9 Průběhy výstupních signálů IRC snímače [13]

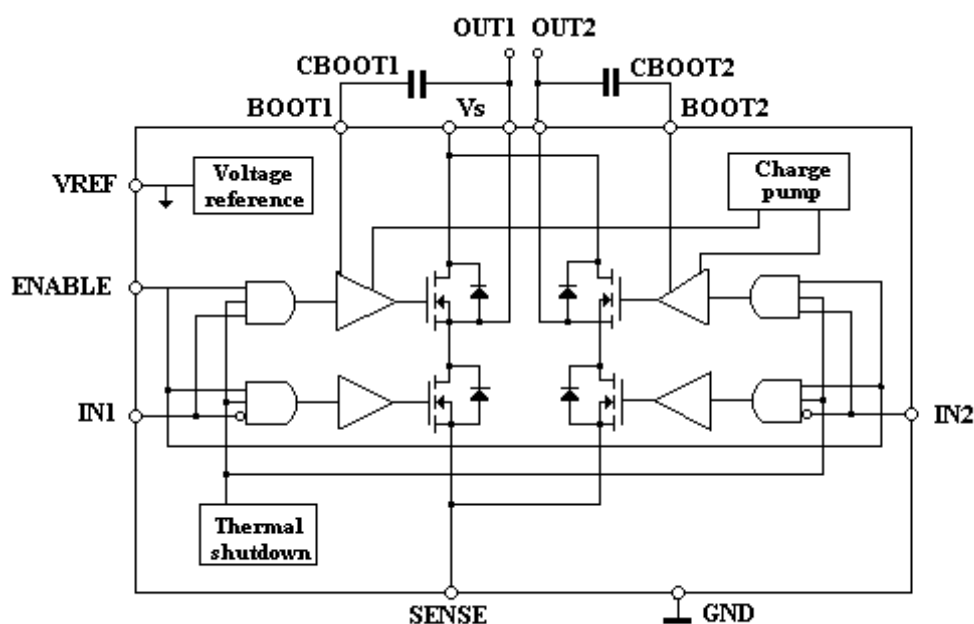
Signály z IRC snímače jsou v praxi obvykle zpracovány obvodem vyhodnocení směru a reverzibilním čítačem, který akumuluje impulsy a udává polohu v číslicové formě. V této laboratorní úloze jsou impulsy z IRC snímače přivedeny na vysokorychlostní vstupy programovatelného automatu, kde jsou čítány kvadrurním čítačem. Obr. 10 prezentuje příklad zapojení a vyhodnocení signálu z IRC snímače. Na základě vyhodnocení signálů A, B jsou generovány impulsy pro čítání nahoru (Up), nebo dolů (Dn). Na zobrazených průbězích je vidět souslednost vstupních a výstupních signálů. Zároveň jsou znázorněny průběhy signálů pro případ, že je zvolen mód činnosti X4 se čtyřnásobnou citlivostí, v praxi známější jako kvadrurní. V tomto módu jsou vyhodnocovány všechny hrany signálů A a B. Kotouč s např. 250 značkami tak vytvoří 1000 impulsů za otáčku. V našem případě má kotouč 660 dílků, tak při kvadrurním režimu 2640 impulsů. [13]



Obr. 10 Průběhy výstupních signálů IRC snímače [12]

3.4 Výkonový obvod L6203

Obvod L6203 obsahuje čtyři tranzistorové klíče, zapojené do dvou půl mostů. Díky tomuto zapojení je schopen symetricky řídit otáčky stejnosměrného motoru. Obvod také obsahuje nezbytné ovládací a ochranné obvody. Je tedy přímo určen k řízení stejnosměrných nebo krokových motorů v pulsním režimu. Vyroben je hybridní technologií, která sdružuje výkonové DMOS tranzistory, CMOS a bipolární obvody na jednom integrovaném obvodu. Těto výhody se využívá hlavně z hlediska efektivnosti a spotřeby energie. Na obr. 11 je uvedeno vnitřní zapojení. Dva řídicí vstupy (IN1 a IN2) jsou plně kompatibilní s TTL logikou a každý tento vstup ovládá jeden půl most. Naznačená vnitřní logika ovládání koncových spínačů automaticky zabráňuje sepnutí obou spínačů v jednom půl mostu nad sebou a tím i k zničení obvodu. Vstup ENABLE, též slučitelný s TTL logikou, umožňuje okamžité uzavření všech spínacích tranzistorů. Výkonová část spínačů je vyvedena na výstup SENSE, který je možné použít na proudovou ochranu připojeného motoru. Obvod má vestavěný zdroj referenčního napětí, potřebný pro ovládání horních dvou spínačů, ochranu proti zkratu obou půl mostů a tepelnou ochranu pracující při překročení hodnoty 150 °C. [1]



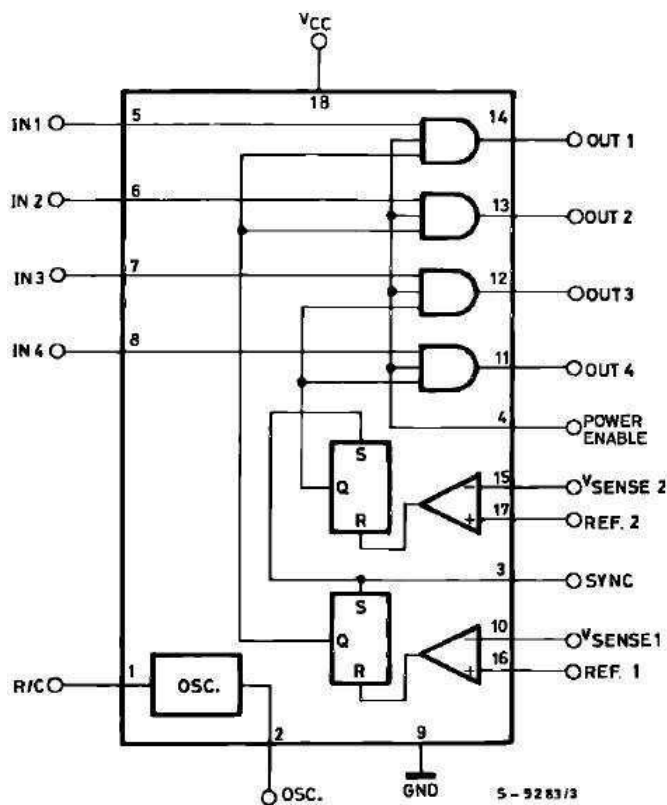
Obr. 11 Vnitřní zapojení výkonového obvodu L6203 [1]

Základní vlastnosti obvodu L6203:

- Napájecí napětí do 48 V,
- maximální špičkový proud 5 A,
- efektivní proud 4 A,
- ochrana proti zkratu,
- řízení kompatibilní s TTL logikou,
- teplotní ochrana.

3.5 Řídící obvod L6506

Společnost SGS Thomson doporučuje k obvodu L6203 zapojit obvod L6506 jako speciální řídicí obvod, který pracuje jako regulátor proudu a plní funkci snímání proudu a pozdější regulaci proudu, který prochází motorem. Obvod L6506 plní zároveň funkci ochrany výkonové části před přetížením. Vnitřní schéma zapojení obvodu L6506 je zobrazeno na obr. 12. Obvod generuje PWM signál při splnění dvou podmínek. První podmínka je splněna, pokud je na vstup ENABLE přivedena log. 1. Druhou podmínkou je nižší napětí na vstupu V_{sense} než na příslušném vstupu V_{ref} . Obvod je zároveň schopen generovat hodinový signál. Od obvodu L6203 je možné vytvořit zpětnou vazbu kontrolující velikost proudu protékající tímto obvodem tak, že mezi konektor SENSE u obvodu L6203 viz. obr. 11 a zem je připojen výkonový odpor o relativně malé hodnotě, v našem případě $R = 0.47 \Omega$. Protéká-li odporem R proud, vzniká na něm napětí, které je přivedeno na vstup V_{sense1} u obvodu L6506. Toto napětí je porovnáváno se vstupním napětím na vstupu V_{ref1} a pokud je větší než napětí na vstupu V_{sense1} , tak dojde k odpojení výstupů OUT1 a OUT2 obvodu L6506. Kombinaci zapojení obvodu L6203 a L6506 je možno vidět na obr. 17 v kap. 4.2.2. [21]



Obr. 12 Vnitřní zapojení řídicího obvodu L6506 [6]

3.6 Mikrořadič ATmega 16

3.6.1 Volba mikrořadiče

Základním prvkem modulu pro řízení stejnosměrného motoru je spolu s výkonovou částí, kterou představují obvody L6203 a L6506 i mikrořadič. Při samotném návrhu desky plošného bylo počítáno mikrořadičem řady ATmega8. Postupem času při přidávání součástek a následném zapojování bylo zjištěno, že tento mikrořadič je nedostačující z hlediska počtu vstupů a výstupů. Byl tedy zvolen logicky o řadu vyšší mikrořadič ATmega16. Rozhodující nebyla ani tak velikost paměti, ale hlavně dvě přerušení pro vstup dvou kanálů z IRC snímače a 16 bitový čítač pro generování PWM signálu.

3.6.2 Charakteristika a vlastnosti mikrořadiče

ATmega16 je moderní mikrořadič řady AVR od společnosti Atmel. Je založen na RISC architektuře. Většinu příkazů na úrovni strojového jazyka vykoná v době jednoho cyklu. Maximální výkon je odvozený z hodnoty taktovací frekvence - 16 MIPS. Vyrábí se v dvou verzích: mega16 a mega16L, jež se odlišují napájecím napětím a maximální využitelnou hodnotou MIPS. [9]

Periferie jsou důležitou součástí mikrořadiče. Můžeme si je představit jako dílčí samostatné celky MCU, ke kterým přistupujeme většinou pomocí patřičných registrů. Jejich chování je do jisté míry autonomní s definovanými vstupy a výstupy. [9]

Periférie mikrořadiče ATmega 16:

8bitový čítač/časovač - v tomto režimu čítá impulsy přivedené na vnější pin označený T1 nebo T0. V režimu časovač čítá pevný kmitočet, který je odvozen od hodinového signálu mikrořadiče. Napočítáním určitého počtu impulsů se zajistí odměření časového úseku. Součástí čítače/časovače je generování PWM signálu, záchytný registr a výstupní komparátor, jenž je schopen na základě své činnosti vyvolat přerušení.

16bitový čítač/časovač - oba režimy jsou shodné s 8bitovým čítačem/časovačem, navíc je lze použít jako čtyři 8bitové čítače/časovače. Dalším vylepšením jsou speciální módy pro obsluhu a generování PWM signálu.

USART - plně duplexní synchronní a asynchronní přijímač a vysílač dat po dvou vodičích dodržuje polaritu RS-232. Je schopen na základě své činnosti vyvolat několik různých přerušení.

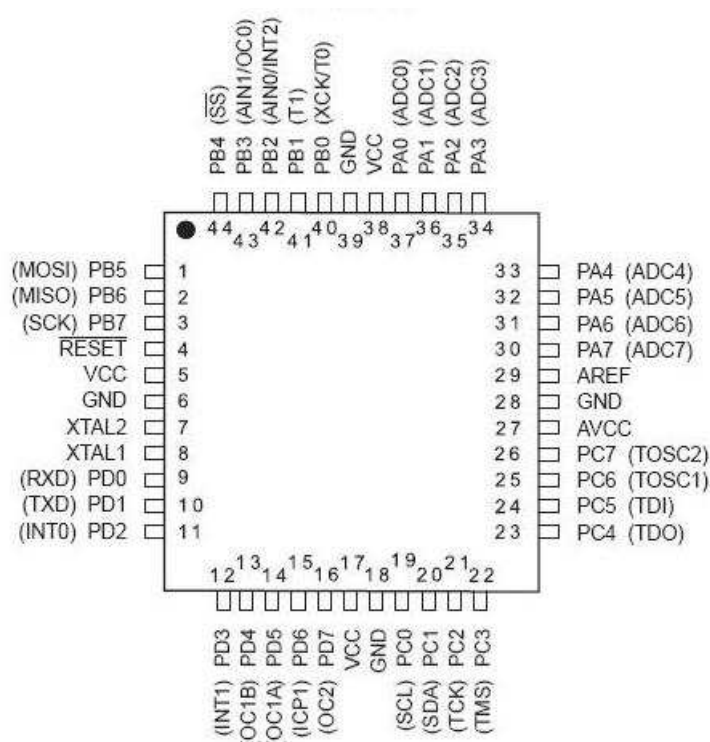
SPI - jde o synchronní jednosměrné nebo obousměrné komunikační rozhraní, které bývá ještě navíc vybaveno třetím vodičem pro výběr periferního obvodu.

Watchdog Timer - je nezávislý čítač, který dohlíží na správný chod programu. Běží-li program správně, je Watchdog Timer pravidelně na některém místě programu nulován, ale dojde-li z nějakého důvodu k zacyklení programu, není Watchdog Timer nulován a přeteče. Po jeho přetečení dojde k resetování mikrořadiče.

A/D převodník - zabudovaný A/D převodník umožňuje měření napětí, či jiných fyzikálních veličin reprezentovaných napětím přivedeným na příslušný pin mikrořadiče, bez nutnosti připojování vnějšího A/D převodníku. [9]

Vlastnosti mikrořadiče:

- 16 KB interní paměti FLASH,
- 1 KB interní paměti SRAM,
- 512 B interní paměti EEPROM,
- 2 x 8 bitový čítač,
- 1 x 16 bitový čítač,
- 4 kanály PWM,
- 8 kanálový - 10 bitový A/D převodník,
- 32 vstupů/výstupů,
- napájecí napětí 4,5 - 5,5 (L série 2,7 - 5,5 V).



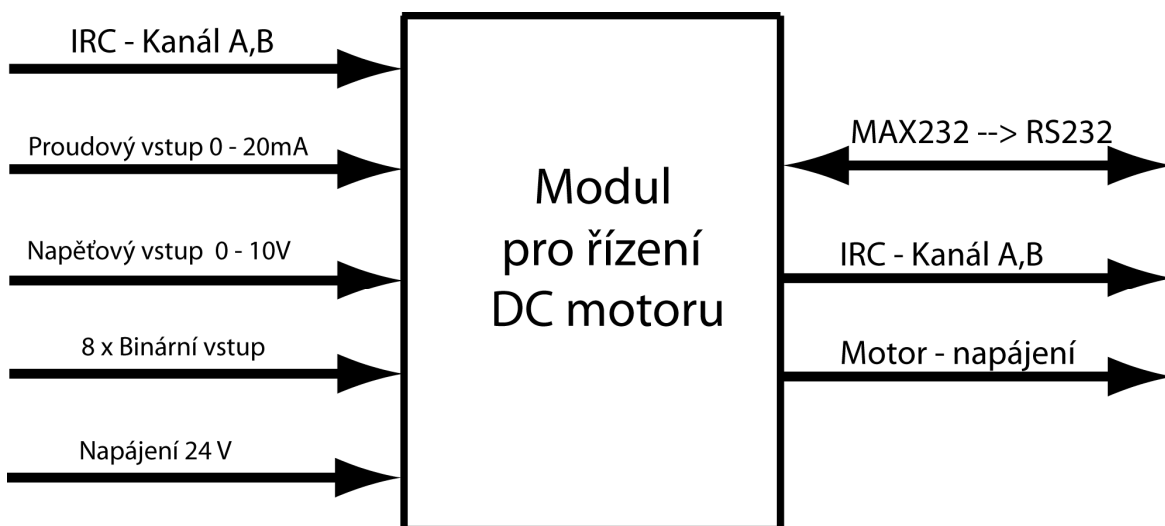
Obr. 13 SMD pouzdro ATmega 16

Část B – Praktická část

4 MODUL PRO ŘÍZENÍ STEJNOSMĚRNÉHO MOTORU POMOCÍ PLC

4.1 Popis blokového schématu modulu pro řízení motoru

Na obr. 14 je znázorněno blokové schéma modulu pro řízení stejnosměrného motoru. Bez tohoto modulu, který bude dále popsán, by nebylo možné zvolený motor řídit. Kdyby byl požadavek na řízení motoru pouze pomocí programovatelného automatu, tak je prakticky nespílnitelný. Jde o to, že programovatelný automat disponuje především digitálními výstupy, jež mají nedostatečný výstupní proud na to, aby mohly přímo řídit zvolený motor v rozsahu, který je požadován. U analogových výstupů platí to stejné. Hlavní důvod, proč byl tento modul navrhnout a posléze i zhotoven je ten, že především obsluhuje regulaci proudu motorem pomocí řídicího obvodu L6506 a výkonového obvodu L6203. Bez této regulace by nebylo možné motor adekvátně řídit a dosáhnout tím požadavků, které byly na tuto laboratorní úlohu kladeny.



Obr. 14 Blokové schéma modulu pro řízení stejnosměrného motoru

Bylo tedy potřeba přijít s dostatečně robustním řešením v podobě zmíněného modulu, který v kombinaci s programovatelným automatem zaručí odpovídající výkon k řízení motoru a ujasnit si základní požadavky, kterých má být dosaženo u řízeného motoru a podle toho se orientovat při konkrétním návrhu elektroniky, jež bude v modulu obsažena. Za hlavní prvek modulu je označen mikrořadič ATmega16, který převádí akční veličinu rychlosti na odpovídající hodnotu pro regulátor proudu. Akční veličina rychlosti je na vstup regulátoru proudu přivedena jako žádaná hodnota proudu.

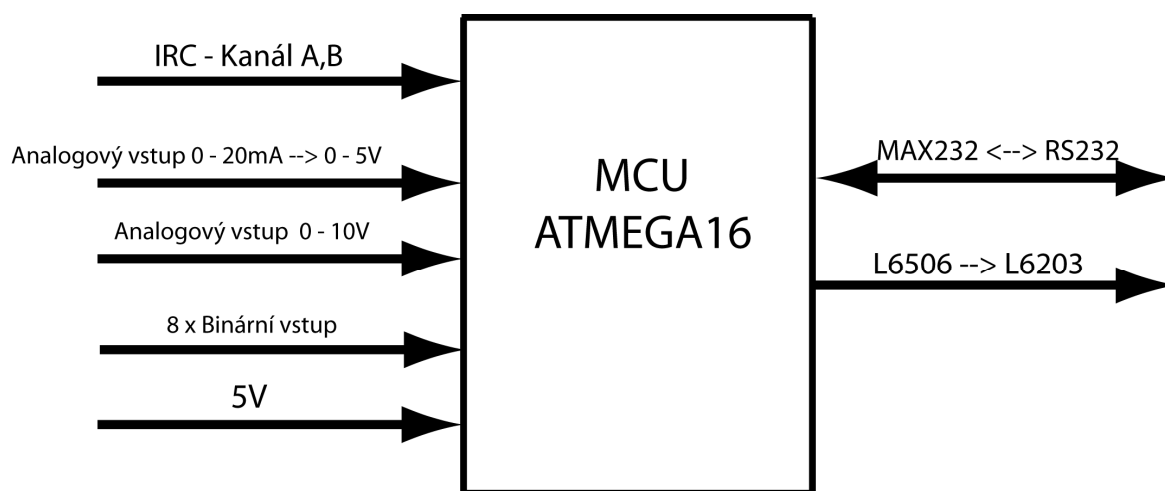
Na obr. 13 je vidět, co je přiváděno na vstup modulu a co je naopak posíláno do PC, programovatelného automatu nebo na svorky motoru.

Na vstup modulu jsou přivedeny hodnoty z programovatelného automatu. Jde buď o binární, napěťový nebo proudový výstup programovatelného automatu. Tyto hodnoty jsou pak dále upravovány tak, aby mohly být přivedeny na vstup mikrořadiče.

Na napájecí svorky modulu je přivedeno napětí 24 V, které napájí jak výkonový obvod L6203, tak je pak dále upravováno pro další integrované obvody. Na vstup modulu jsou dále přivedeny kanály A a B z IRC snímače, jež jsou také upraveny a posílány na vstup programovatelného automatu. Vstupem i výstupem zároveň je sériová linka. Vstupem v tom případě, pokud by byla snaha řídit motor z PC a výstupem v ten moment, kdy při programování mikrořadiče je potřeba monitorovat aktuální hodnoty, které jsou vypočteny a posílány na výstupy mikrořadiče. Tyto hodnoty jsou také posílány přes sériovou linku na vstup PC, kde jsou čteny pomocí programu ViewCom a vyhodnoceny. Na výstup modulu je přivedeno výsledné napětí z výkonového obvodu L6203 posílané následně na svorky motoru.

4.2 Popis jednotlivých částí schématu řídicího modulu

4.2.1 Zapojení mikrořadiče



Obr. 15 Blokové schéma zapojení mikrořadiče.

Mikrořadič je připojen ke stabilizovanému napětí 5 V, které z 24 V vytváří stabilizátor napětí L7805. Jelikož v aplikaci je využito A/D převodníku, je na pin AVCC a AREF přes kondenzátor C30 přivedeno napětí 5 V a na pin AGND zem. Kdyby tomu tak nebylo, tak nebude fungovat čtení analogové hodnoty na pinech PA0 - PA2. Výrobce na tento problém upozorňuje v katalogovém listu.

K pinům XTAL1 a XTAL2 je připojen externí krystal Q2 o frekvenci 16 MHz, jenž je na obou koncích spojen přes kondenzátory C28 a C29 (22 pF) se zemí. Reset je aktivní v úrovni log.0. Po přivedení napájení je na resetu logická nula do doby, než se nabije elektrolytický kondenzátor C27, který pak udržuje na resetu trvale log.1.

Na portu A jsou obsazeny pouze tři piny. Na tomto portu je integrován A/D převodník pro převod analogové hodnoty na digitální, s nímž je schopen mikrořadič pracovat. Na pin PA0 je přivedena hodnota napětí z programovatelného automatu. Toto napětí je samozřejmě upraveno, jak bude dále popsáno. Na vstup A/D převodníku musí být přivedeno napětí v rozsahu 0 - 2,56 V. Na pin PA1 je přivedena hodnota napětí, která vznikne převodem proudu 0 - 20 mA z programovatelného automatu na napětí 0 - 5 V. Toto napětí je pak také dále upraveno na rozsah 0 - 1,28 V. Na pin PA2 je přivedena

hodnota napětí, jež vznikne průchodem proudu přes výkonový odpor R4. Díky tomuto převodu, můžeme monitorovat proud, který prochází motorem.

Port B je obsazen kompletně celý. Pomocí bitu PB0 je určen směr otáčení motoru. Jestliže je bit v log. 1, tak se motor otáčí doprava. Je-li tomu naopak, točí se motor doleva. Na pin PB1 je připojen jumper, který se nepoužívá, ale byl zařazen do návrhu z toho důvodu, kdyby byl potřeba jeden vstup na další nastavení. Na pinech PB2 - PB4 jsou umístěny jumpery, pomocí kterých je nastaveno, se kterou akční veličinou na vstupu bude mikrořadič pracovat. Jestliže je spojka na jumperu, jenž je spojen s pinem PB2, tak je zvolena varianta řízení otáček pomocí proudového výstupu na PLC. Jestliže je spojka na jumperu, který je spojen s pinem PB3, tak je zvolena varianta řízení otáček pomocí napěťového výstupu na PLC. V případě, že je spojka na jumperu, který je spojen s pinem PB4, tak je zvolena varianta řízení otáček pomocí binárních výstupů na PLC. Piny PB5 - PB7 jsou použity pro programování mikrořadiče přes rozhraní SPI. Tyto piny jsou vyvedeny na standardní konektor MLW10.

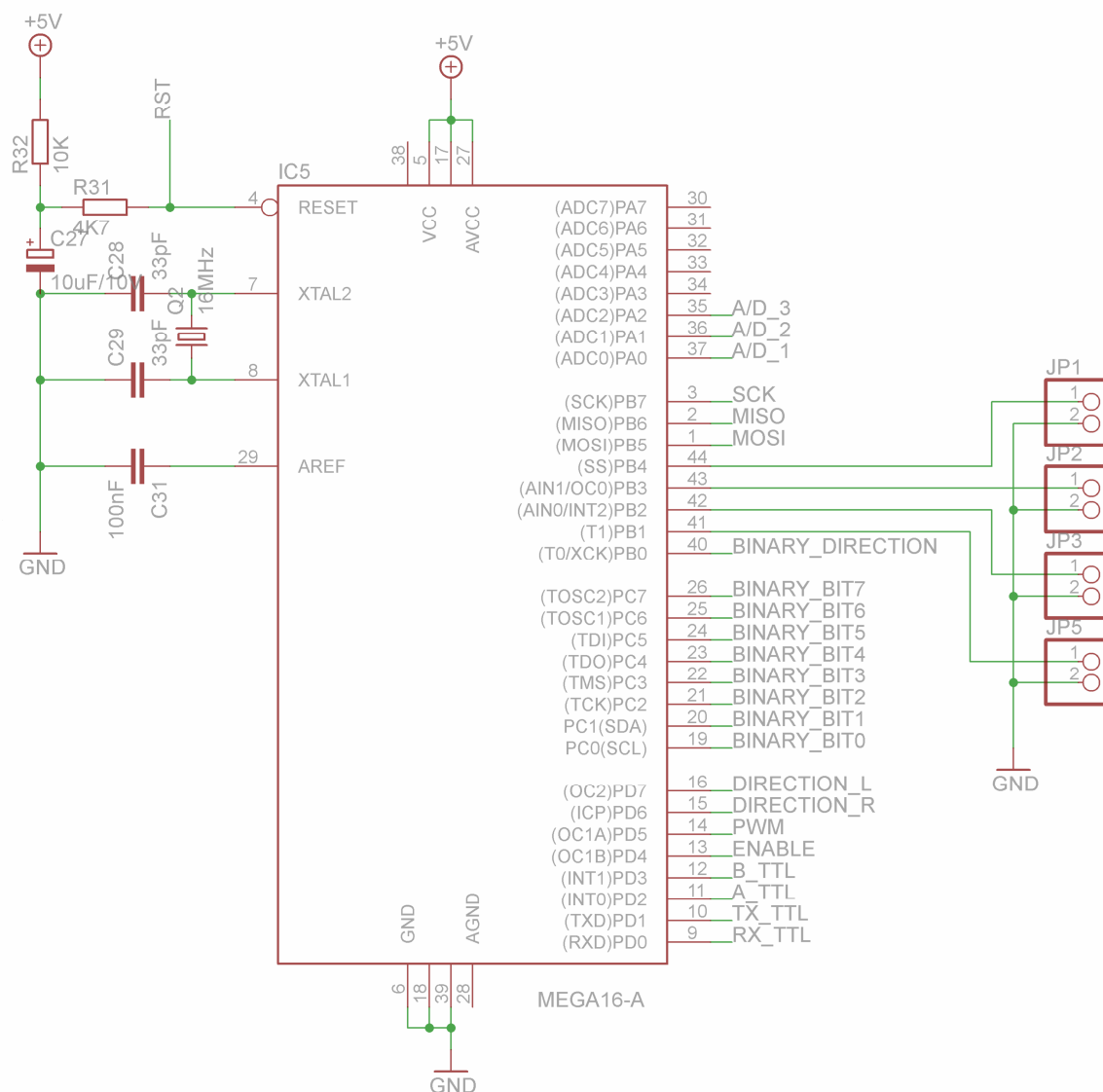
Port C je kompletně celý obsazen binárními vstupy. Je přiváděna hodnota log.1 nebo log.0 v závislosti na výstupu z programovatelného automatu. Tato hodnota musí být upravena na odpovídající napětí. V případě, že je přivedena log.1, tak na vstup mikrořadiče může být přivedeno napětí maximálně 5 V. Z automatu při log.1 vystupuje napětí 24 V. Toto napětí je tedy sníženo pomocí Zenerovy diody a odporu a přivedeno na vstup mikrořadiče.

Port D je taktéž obsazený kompletně celý. Sériová linka pro sběrnici RS-232 je vyvedena z pinů PD0 a PD1 na SMD obvod MAX 232. Tento integrovaný obvod slouží jako převodník RS-232 na TTL úrovni. Výhoda obvodu je, že potřebuje pouze jeden zdroj napětí +5 V. Obvod obsahuje 2 převodníky mezi TTL a RS-232 a 2 převodníky mezi RS-232 a TTL. Potřebné zapojení je uvedeno v technické dokumentaci k obvodu. Z obvodu MAX232 je sériová linka vyvedena na konektor CAN9. [17]

Na piny PD2 a PD3, které generují vnější přerušování, jsou připojeny kanály A a B z IRC snímače. Na pin PD4 je připojen ENABLE obvodu L6506. V případě, že na tomto pinu je log.1 je povoleno otáčení motoru. Je-li tomu naopak, je motor zastaven. Na pinu PD5 se nachází výstupy komparační jednotky 16 bitového časovače T1, které slouží pro tvorbu PWM signálu. PWM signál je pak dále poslán na vstup řídicího obvodu L6506. Na piny PD6 a PD7 jsou připojeny vstupy obvodu L6506, pomocí kterých je ovládán směr otáčení motoru. Podle tab. 1 je rozlišen směr otáčení motoru v závislosti na vstupech obvodu L6506.

Tab. 1: Směr otáčení motoru v závislosti na vstupech obvodu L6506

IN1(PD6)	IN2(PD7)	ENABLE	Směr otáčení
0	0	1	Brzda
0	1	1	Vlevo
1	0	1	Vpravo
1	1	1	Brzda
X	X	0	Volně se otáčí



Obr. 16 Schéma zapojení mikrořadiče

4.2.2 Regulační smyčka proudu

Vnitřní regulační smyčka proudu je tvořena pomocí dvojice obvodů od firmy SGS Thomson. Jde o obvody L6203 a L6506. Zapojení je převzato od výrobce. Uvádí ho v katalogovém listě obvodu L6203. [5]

Obvod L6506 je speciální řídicí obvod, který pracuje jako regulátor proudu a plní funkci snímání proudu a pozdější regulaci proudu procházející motorem. Proud je snímán výkonovým rezistorem R4. Tento rezistor je připojen k obvodu L6203. Při průchodu proudu tímto výkonovým rezistorem vzniká úbytek napětí, jež je jako regulovaná veličina přivedena přes odpory R2 a R3 na vstupy VSEN1 a VSEN2 řídicího obvodu L6506. Poté dochází k porovnání požadovaného napětí, které je přivedeno na vstup REF1 s napětími na vstupu VSEN1. Jestliže je napětí (proud motorem) větší, tak dochází k přepnutí komparátoru uvnitř obvodu L6506 a k automatickému vypnutí výstupů OUT1 a OUT2. Je-li tomu naopak, výstupem je PWM signál na vstupech IN1 a IN2 obvodu L6203. PWM

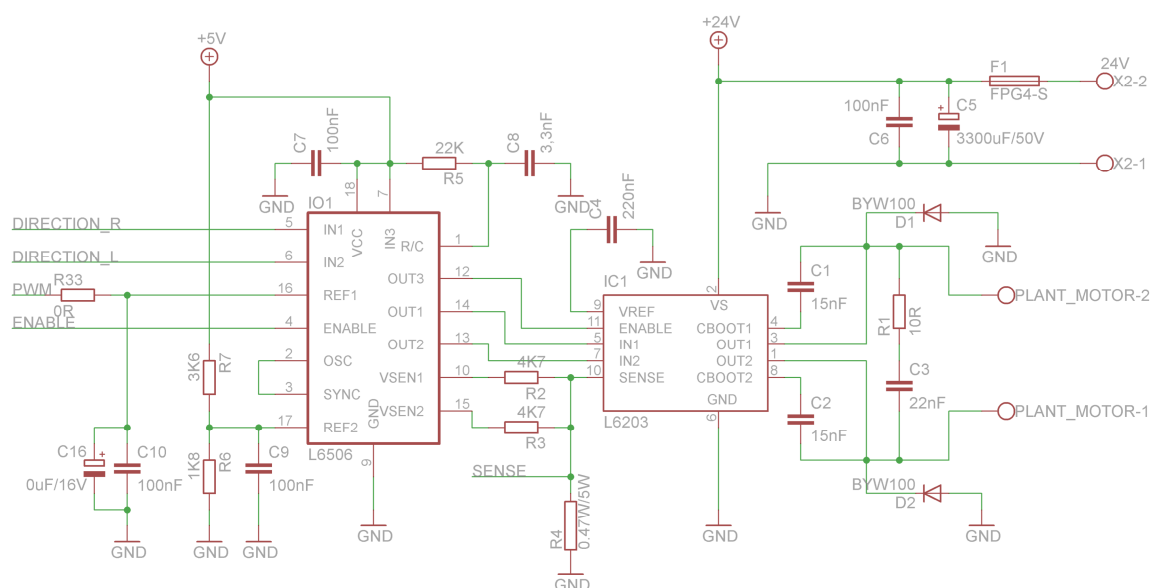
signál přiváděný na tyto vstupy způsobuje otvírání nebo zavírání tranzistorů výkonového mostu. Na vstup REF1 je třeba přivádět stejnosměrné napětí o velikosti maximálně 2 V. Toto napětí je generováno mikrořadičem pomocí PWM a vyhlazeno integračním článkem. Tímto napětím se nastavuje maximální proud motorem a tedy i jeho rychlost otáčení. Komparátor pro vstupy REF2 a VSEN2 tvoří nadproudovou pojistku. Dělič na vstupu REF2 je z toho důvodu, že komparátor reaguje na vstupní napětí maximálně do 3V. Protože je předepsané napětí na REF1 maximálně 2V na REF2, se přivádí přes dělič napětí 2,5 V. Tímto způsobem lze nastavit provozní proud motorem až po určitou hodnotu pomocí REF1 a komparátor REF2 tvoří pojistku proti zkratu na vstupu. [4]

Motor je buzen impulsním signálem a perioda je odvozena od RC oscilátoru tvořeného odporem R5 a kondenzátorem C8. Frekvence vzniklého oscilačního signálu je dána vztahem:

$$f_{osc} = \frac{1}{0,69 * RC} \doteq 20kHz \quad (3)$$

Tento signál je příslušnými vnitřními obvody podle obr. 12, viz. kap. 3.5 převeden na hodinový signál na pinu 2, který je ve schématu označen jako OSC. Pin 2 je přímo spojen s pinem 3, označovaným jako SET, vstupem vnitřního RS klopného obvodu. Pokud dojde k překročení maximálního proudu obvodem L6203, dojde také k trvalému odpojení výstupu obvodu L6506, jenž je možné opět připojit buď manuálně nebo celkovým restartem. [21]

V době odpojení klesne proud obvodem L6203. Připojením hodinového signálu na pinu 3 je docíleno automatického připojování výstupu L6506 v intervalech daných frekvencí hodinového signálu. Pokud je po připojení výstupu L6506 zjištěn nadměrný proud obvodem L6203, dojde opět k odpojení výstupu L6506 a jeho dalšímu připojení dalším pulsem hodinového signálu. [21]

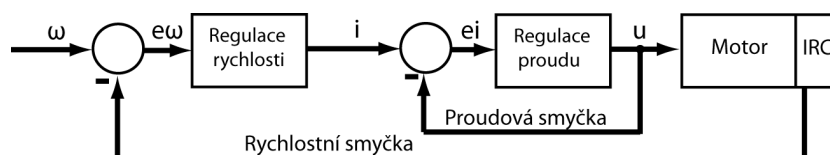


Obr. 17 Schéma regulátoru proudu

4.2.3 Regulační smyčka rychlosti

Regulační smyčka rychlosti otáčení motoru je realizována programovatelným automatem pomocí PSD algoritmu.

Z blokového schématu na obr. 18 je zřejmé, že hlavní regulační smyčkou je regulace rychlosti ω . Regulační smyčce rychlosti je podřízena regulace proudu i . Regulace rychlosti probíhá takovým způsobem, že žádaná rychlost otáčení ω je přivedena do součtového členu společně s informací ze snímače rychlosti. Z regulátoru rychlosti vychází akční zásah ve formě proudu i . V našem případě se nejedná o proud, ale o jednu ze tří možností zápisu žádané hodnoty rychlosti na vstup mikrořadiče. Jak již bylo zmíněno, akční veličinu rychlosti otáčení lze na mikrořadič přivést pomocí binárních výstupů nebo napěťového či proudového výstupu programovatelného automatu. Mikrořadič vyhodnotí hodnotu na vstupu, jež jako žádanou hodnotu převede na PWM signál, který následně posílá na vstup řídicího obvodu L6506. Zde už proběhne situace, která je popsána v kap. 4.2.2. [16]

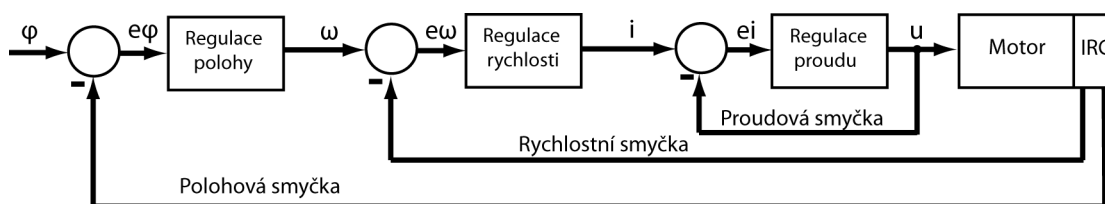


Obr. 18 Regulační smyčka rychlosti

4.2.4 Regulační smyčka polohy

Regulační smyčka rychlosti otáčení motoru je realizována programovatelným automatem pomocí PSD algoritmu.

Polohová regulační smyčka má za úkol regulovat polohu natočení hřídele φ . Na obr. 19 je blokové schéma polohové regulační smyčky, která obsahuje dvě podřízené regulační smyčky. Hlavní regulační smyčkou je regulace polohy φ . Regulační smyčce polohy je podřízena regulace rychlosti ω a té je zase podřízena regulace proudu i . Regulace polohy probíhá takovým způsobem, že žádaná poloha natočení φ je přivedena do součtového členu společně s informací ze snímače polohy. Z regulátoru polohy vychází akční zásah ve formě rychlosti, tato hodnota je přiváděna na vstup součtového členu, do kterého vstupuje i informace o aktuální rychlosti otáček motoru. Otáčky motoru jsou získány podělením aktuálním počtem impulzů IRC snímače s počtem impulzů na jednu otáčku. Ze součtového členu vychází odchylka rychlosti, ta vstupuje do regulátoru rychlosti, který spočítá akční zásah a následuje stejná situace jako u regulace rychlosti. [16]



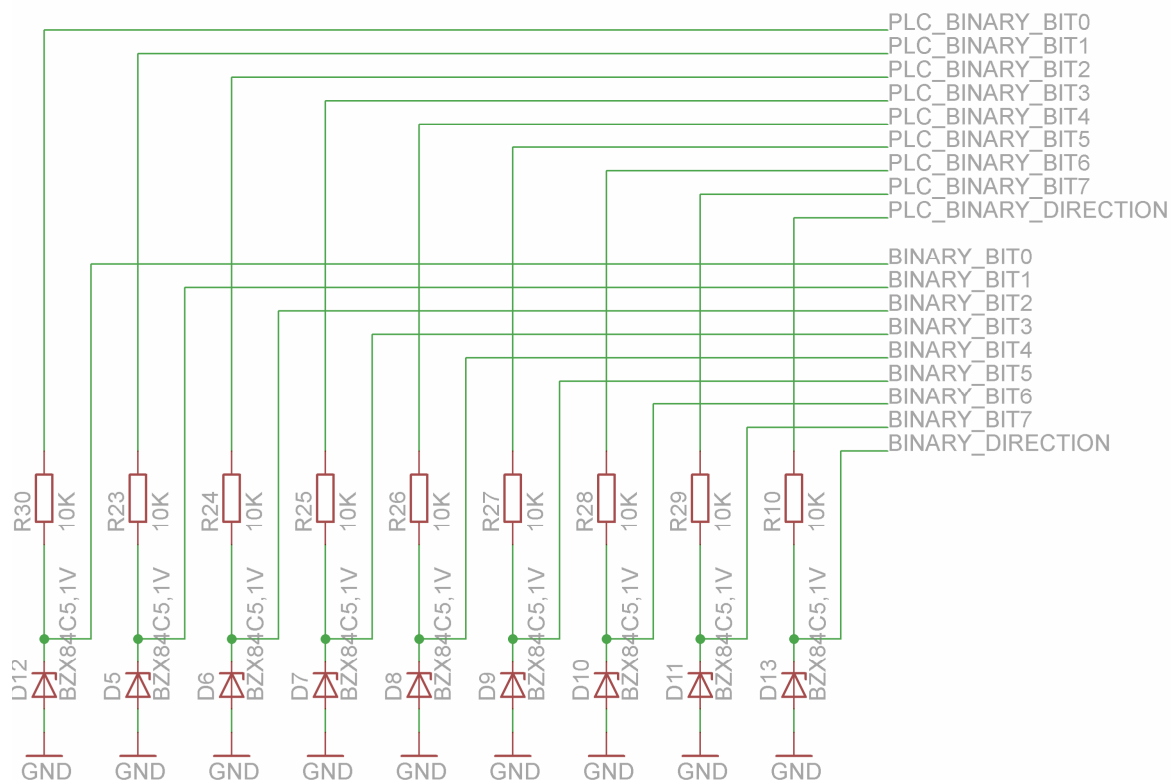
Obr. 19 Regulační smyčka polohy

4.2.5 Možnosti řízení motoru pomocí PLC

Jak už bylo uvedeno v úvodu, jsou tři možnosti, jak lze zadávat akční veličinu otáček na vstupy mikrořadiče. Jedná se především o binární zápis hodnot. Tento zápis je nastaven defaultně a je nejpřesnější, proto je zápis akční veličiny pomocí analogových hodnot spíše jako doplněk a vyzkoušení pro studenty, že variant pro zadávání akční veličiny je více. Zadávání akční veličiny pomocí napětí nebo proudu nedosahuje takové přesnosti.

Hodnoty napětí a proudu, které vystupují z PLC, není možné rovnou přivést na vstup mikrořadiče. Došlo by k jeho destrukci. Tyto hodnoty se musí upravit tak, aby je byl mikrořadič schopen zpracovat a následně i vyhodnotit.

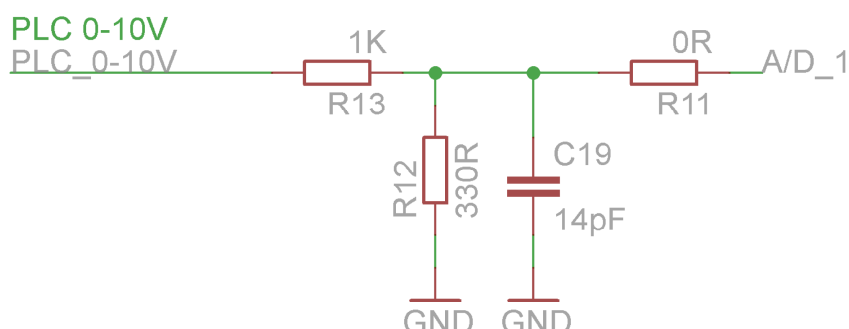
U binárních vstupů je třeba převést napětí 24 V na napětí 5 V, které je přijatelné pro mikrořadič. Jde tedy o převod log.1, jež je generována automatem na log.1, která je přivedena na vstup mikrořadiče. Hodnota napětí je přes odpory R23 - R30 a Zenerovy diody D5 - D13 snížena na hodnotu přijatelnou pro mikrořadič a přivedena na jeho vstupy. U tohoto zápisu je jisté to, že když pošleme na výstup automatu binární hodnotu 59, tak tu stejnou hodnotu dostaneme i na vstupech mikrořadiče, a to je hlavní důvod, proč je prioritně využíváno binární zadávání akční veličiny.



Obr. 20 Převod napětí 24 V z PLC na 5 V pro mikrořadič

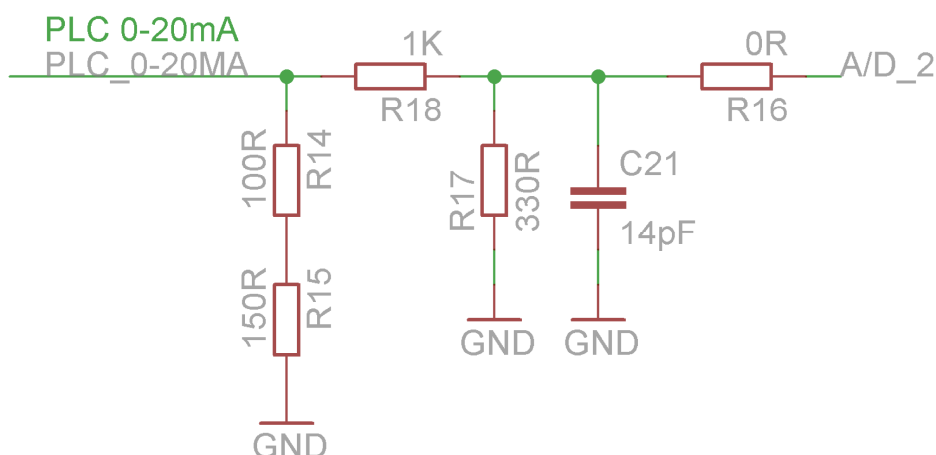
U napěťového analogového vstupu je nutno upravit napětí 0 - 10 V na napětí v rozmezí 0 - 2,56 V. Tohoto rozsahu napětí je těžké přesně dosáhnout. Lze se mu jen těsně přiblížit, ale díky použitému odporu, který má určitou přesnost, nelze přesně dosáhnout potřebného rozsahu napětí. Napětí pak vstupuje do A/D převodníku na portu A.

Z obr. 21 jde vyčíst následující úprava. Pomocí děliče odporů R13 a R12 je hodnota napětí upravena na napětí 0 - 2,56 V a pomocí kondenzátoru C19 je provedena filtrace již zmíněného napětí.



Obr. 21 Převod napětí z rozsahu 0 - 10 V na rozsah 0 - 2,56 V

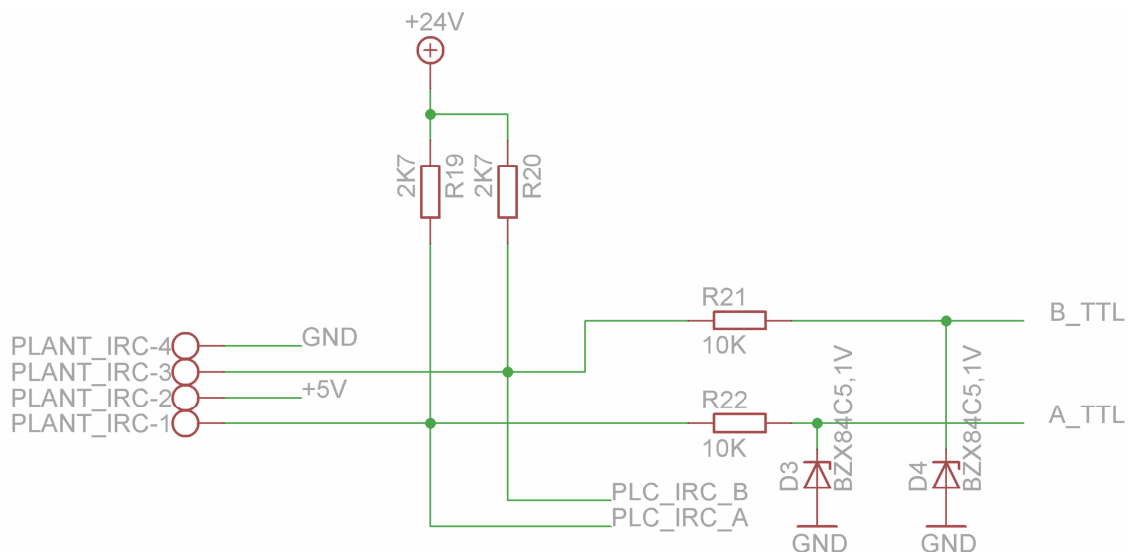
U proudového analogového vstupu je nutno upravit proud 0 - 20 mA na napětí v rozmezí 0 - 1,28 V, které vstupuje do A/D převodníku na portu A. Z obr. 22 jde vyčíst následující úprava. Nejprve dojde k převodu proudu na napětí v rozsahu 0 - 5 V. Poté je toto napětí upraveno na rozsah 0 - 1,28 V a přivedeno na vstup mikrořadiče. Zde opět nedosáhneme potřebného rozsahu napětí jako tomu je u napěťového vstupu.



Obr. 22 Převod proudu z rozsahu 0 - 20 mA na napětí v rozsahu 0 - 1,28 V

4.2.6 Převod hodnot z IRC snímače

Jak už bylo popsáno v kap. 3.3, výstupem IRC snímače jsou kanály A a B, které jsou přivedeny na mikrořadič a do PLC. Jelikož IRC snímač nemá výstup na úrovni TTL, ale pouze výstup s otevřeným kolektorem bylo zapojení řešeno podle obr. 23, kde napětí 24 V jsou připojeny pull-up odpory R19 a R20 a signál je poté přiveden přímo na vstupy PLC.



Obr. 23 Úprava signálu z IRC snímače

4.3 Programování mikrořadiče ATmega 16

Aby jednočipový mikrořadič ATmega16 pracoval tak, aby plnil všechny požadavky od programovatelného automatu, je potřeba napsat program pro mikrořadič a přeložit jej do strojového kódu. Posledním krokem je nahrání výsledného strojového kódu do mikrořadiče. Velkou výhodou AVR procesorů je skutečnost, že obě zmíněné činnosti mohou být zajištěny pomocí volných nástrojů.

V laboratoři programovatelných automatů je k dispozici vývojové prostředí AVR Studio. Jedná se o integrované vývojové prostředí pro vývoj programů pro procesory Atmel AVR s možností integrace překladačů jazyka C. Prostředí obsahuje rovněž simulátor procesorů AVR a přímo podporuje základní druhy ladících nástrojů Atmel. [17]

4.3.1 Popis programu

Z důvodu umožnění komunikace programovatelného automatu s modulem pro řízení stejnosměrného motoru, musí být v mikrořadiči napsán program. Díky němu budou bezchybně obsluhovány vstupy a podle zhotoveného programu vykonávat takové operace, aby na výstupu byla hodnota odpovídající převodu akční veličiny rychlosti z programovatelného automatu na PWM signál, který je spolu s dalšími řídicími signály poslán na vstup řídicího obvodu L6506.

Na obr. 24 je zobrazen vývojový diagram programu, jenž je nahrán v mikrořadiči. Je zřejmé, že ihned po startu, tedy přivedeném napětí na mikrořadič, následuje inicializace proměnných, definice konstant a přiřazení slovního pojmenování každému vstupu i výstupu tak, aby nebylo pracováno pouze se strohými názvy pinů, které jsou sami o sobě velmi nepřehledné, ale aby bylo dostatečně srozumitelné s jakým vstupem či výstupem v dané části programu je nakládáno. Po tomto přiřazení, následuje inicializace jednotlivých portů. Zde jsou nastaveny porty jako vstupní nebo jako výstupní v závislosti na zapojení těchto portů nebo jejich pinů.

Po inicializaci jednotlivých portů je na řadě nejdůležitější inicializace a počáteční nastavení generování PWM signálu. Tento signál je generován na pinu PD5 výrobcem

označovaný jako OC1A. Výrobce mikrořadiče nabízí celou řadu režimů, ve kterých lze generovat PWM signál. Závisí ovšem na pinu, kde je signál generován a hlavně na druhu PWM signálu, jenž uživatel požaduje. Podle katalogového listu mikrořadiče ATmega16 byl zvolen fázově a kmitočtově korigovaný PWM režim. Poskytuje průběh s velkým rozlišením a používá dvoufázovou realizaci. Čítač opakovaně čítá ode dna, tedy z nuly do vrcholu a potom z vrcholu ke dnu. Vrchol je nastaven v registru ICR1. To znamená, že při této inicializaci je vrchol nastaven a už se více nemění. Mění se dále pouze hodnota v registru OCR1A, která není nastavena v inicializaci, ale ve funkci, jež nastavuje až samotnou hodnotu PWM signálu. V inicializaci je nastavena u registru OCR1A do horního i spodního bytu nula. V inicializaci PWM signálu je dále také u řídicího registru TCCR1A u bitů COM1A0 a A1 nastavena hodnota 01, což znamená v závislosti na tom, zda je na výstupu OC1A log.0 nebo 1. Od toho stavu se odvíjí čítání nahoru nebo dolů. Již zmíněný fázově a kmitočtově korigovaný režim je nastaven volbou bitů v registrech TCCR1A a TCCR1B, kde jsou nastaveny bity WGM 10 - 12 do log.0 a pouze bit WGM 13 do log.1. Posledním nastavením v inicializaci časovače 1 je výběr předděličky. Ta je v našem případě nastavena v registru TCCR1B u bitů CS10 - CS12 na hodnotu 001. To znamená, že jsou zvoleny stejné hodiny jako u mikrořadiče, nedochází zde k nějakému podělení hodinového signálu mikrořadiče.

Poslední inicializací je nastavení A/D převodníku. První akce, která je provedena v této inicializaci, je vynulování řídicího registru ADCSRA. To znamená, že převodník je vypnut. Poté následuje vypnutí analogového komparátoru v registru ACSR. V registru ADMUX je v inicializaci nastaven nultý analogový kanál. Posledním příkazem je opětovné zapnutí A/D převodníku nastavením bitu ADEN do log.1 v řídicím registru ADCSRA. Dále je v tomto registru nastaveno automatické spouštění převodníku v bitu ADATE. Posledním nastavením v řídicím registru je volba předděličky hodinového signálu pro převodník. Je zvolen pomocí bitů ADPS2 - ADPS0, jež jsou nastaveny do log. 1. Z toho nastavení plyne, že hodinový signál pro převodník je 125 KHz.

Po počáteční inicializaci, která je nezbytná pro správnou funkci programu, běží program ve smyčce, kdy čte hodnoty z programovatelného automatu v závislosti na zvoleném jumperu.

Jestliže je nastaven jumper 1 na portu B, bit PB4, tak je zvoleno čtení binárních vstupů. Zde dochází k postupnému maskování požadované hodnoty s jednotlivými bity na portu C v závislosti na tom, je-li na ně je přivedena log.1 nebo log.0. Názorněji to lze vidět na části kódu pro nejnižší a nejvyšší čtený bit. Pokud je nastaven bit do log.1, tak zapsat do požadované hodnoty log.1, není-li tomu tak, tak zapsat log.0.

```
If (bit_is_set (PINC,PORTC0)) REQUIRED_VALUE |= 0B00000001;
else REQUIRED_VALUE &= 0B11111110;
```

```
If (bit_is_set (PINC,PORTC7)) REQUIRED_VALUE |= 0B10000000;
else REQUIRED_VALUE &= 0B01111111;
```

Směr otáčení motoru je dán bitem, který je nastavován z automatu a přiveden na pin PB0. Je-li tento bit nastaven, tak se motor otáčí doprava. Hodnota žádané veličiny je převedena na hodnotu 0 - 255. Je ale potřeba tuto hodnotu upravit na rozsah 0 - 100 % kvůli PWM signálu. Pro přesnější vyjádření je hodnota žádané veličiny upravena na rozsah 0 - 10000 vynásobením příslušnou konstantou. Hodnota žádané veličiny je upravena na požadovaný rozsah a připravena pro zápis do funkce, která generuje PWM signál.

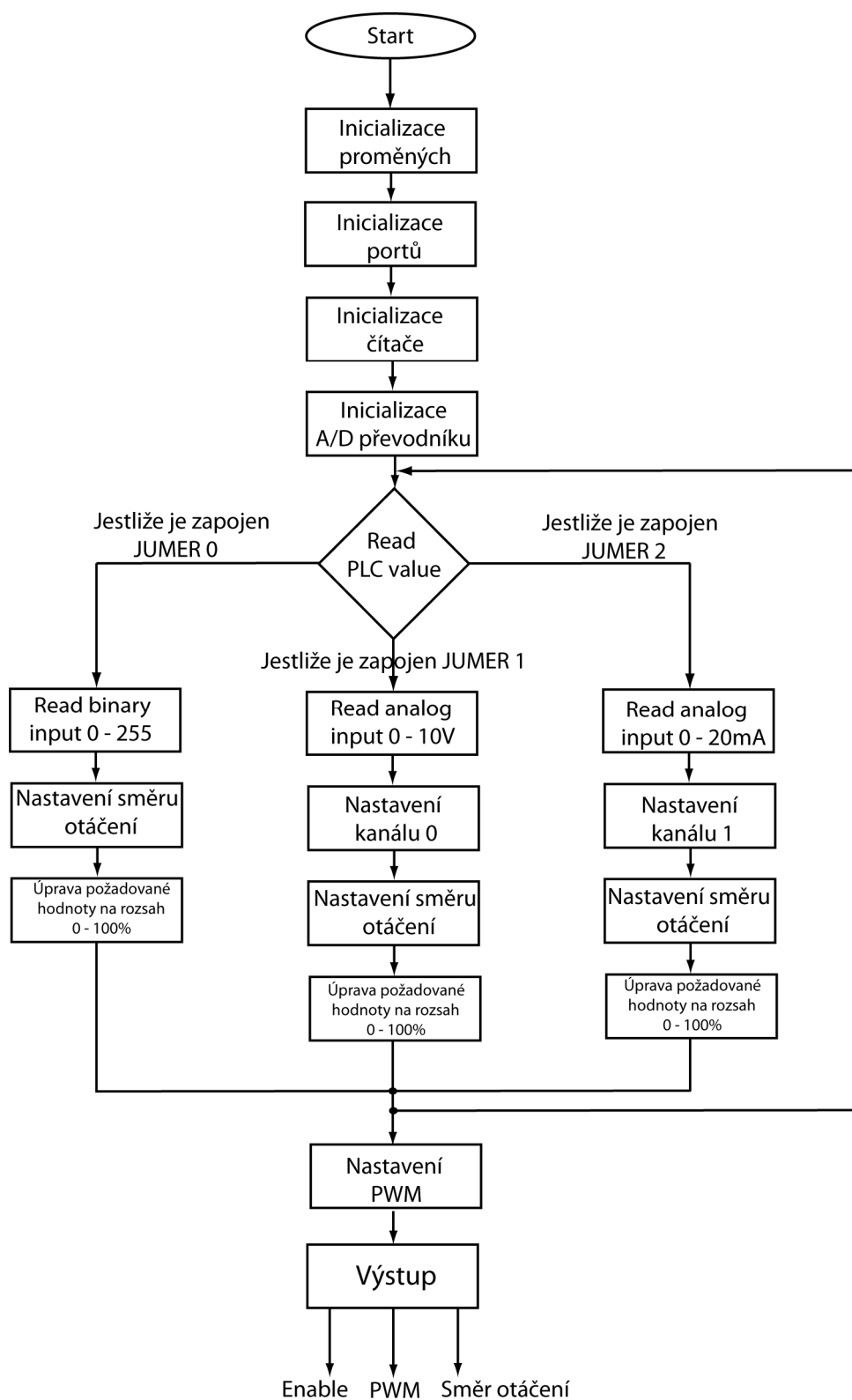
Jestliže je nastaven jumper 2 na portu B, bit PB3, tak je zvoleno čtení analogové hodnoty 0 - 10 V A/D převodníkem na bitu PA0. Hodnota 0 - 10 V upravena na rozsah 0 - 2,56 V, viz. kap. 4.2.5. S touto hodnotou už je převodník schopen pracovat. Převodník je přednastaven v inicializaci a čtení hodnoty z převodníku je prováděno pomocí funkce *adc_read*. Parametrem této funkce je kanál, na němž má být převod uskutečněn a výstupem je naměřená hodnota na tomto kanále, převedena na rozsah 0 - 1024. V závislosti na vstupním kanálu je vymaskován registr ADMUX a tím zvolen požadovaný kanál. Dále je v této funkci nastaven jednoduchý převod podle vzorce (3) zapsáním log.1 na bit ADSC v řídicím registru ADCSRA, který zapisuje převedenou digitální hodnotu do registru ADCH:ADCL. Tento registr vystupuje v programu jako celek pod názvem ADCW.

$$ADCH:ADCL = 1024 * \frac{U_{VST}}{U_{REF}} \quad (4)$$

Právě tato hodnota je výstupem funkce *adc_read*, která je pak následně upravena opět na rozsah 0 - 10000 vynásobením vhodnou konstantou. Směr otáčení je dán bitem PB0 stejně, jak tomu je u binárních vstupů.

Je-li nastaven jumper 3 na portu B, bit PB2, tak je zvoleno čtení analogové hodnoty 0 - 20 mA A/D převodníkem. Tato hodnota je pochopitelně převedena na napětí, viz. kap. 4.2.5. Poté následuje stejný postup jako u čtení 0 - 10 V s tím rozdílem, že je nastaven kanál 1 u registru ADMUX a žádaná hodnota je násobena jinou konstantou.

Po tomto získání žádané hodnoty třemi možnými způsoby je třeba tuto žádanou hodnotu převést na PWM signál. PWM signál už byl z velké části nastaven v inicializaci. Z hlavního programu je volaná funkce *set_pwm*, která nastaví žádanou hodnotu do registru OCR1A, jenž udává střihu PWM signálu. V této funkci je dále nastaveno i pásmo necitlivosti. Jestliže je žádaná hodnota menší jak 5 %, tak motor stojí. Kompletní výpis programu je uveden v elektronické příloze.



Obr. 24 Vývojový diagram programu v mikrořadiči

4.4 Návrh desky plošného spoje

Pro návrh desky plošných spojů byl použit velmi rozšířený a osvědčený software EAGLE 4.16r2 od firmy CADsoft. Obecně se program skládá ze 3 modulů – editor spojů, editor schémat a autorouter. [7]

Modul editor spojů je základním modulem programu Eagle. Umožňuje kompletní návrh desky plošných spojů. Dále umožňuje zpětnou kontrolu dodržení návrhových pravidel, knihovnu součástek s možností doplňování a modifikací, výstupy pro tiskárnu, fotoploter a vrtáčky. [7]

Modul editor schémat je určený pro kreslení schematických zapojení a umožňuje provádět kontrolu správnosti zapojení. Při navrhování schématu je třeba ponechat rastr v defaultním nastavení, tzn. 2,54 mm. Pokud by rastr byl změněn na jiný, mohl by potom nastat problém při výrobě desky plošného spoje. [7]

Modul pro řízení stejnosměrného motoru je sestaven ze standardních běžně dostupných součástek, jejichž naprostá většina je již definována v knihovnách dodávaných spolu s instalací programu Eagle, proto nemusely být pracně dotvářeny modely dalších součástek. Deska plošných spojů je vygenerována po zakreslení všech součástek do schématu. Nutná je definice tvaru a rozměru desky. Součástky jsou propojeny podle schématu pomocí flexibilních vodičů, které jsou zobrazeny přímoou čarou od vývodu k vývodu. Po rozmístění součástek je prováděno kreslení motivu spojů. Výsledný návrh plošného spoje je uveden příloze včetně rozpisu součástek. [7]

4.5 Provedení modulu pro řízení stejnosměrného motoru

Rozmístění součástek bylo voleno tak, aby umožnilo snadnou montáž, přístup ke konektorům a hlavně místo kolem stabilizátoru L7805 a výkonového obvodu L6203 pro umístění chladičů. To z toho důvodu, že při delší zátěži dochází k poměrně velkému zahřátí jak stabilizátoru, tak i výkonového obvodu. Při osazení kvalitními chladiči je problém vyřešen. Deska plošného spoje je navržena ve dvouvrstvém provedení. Spodní strana je osazena SMD součástkami. Jedná se především o většinu odporů a kondenzátorů v zapojení, dále pak mikrořadič ATmega 16 a obvod pro sériovou linku MAX 232. Horní strana desky je osazena metalizovanými součástkami, vynikají zde především dva vysokokapacitní elektrolitické kondenzátory, stabilizátor s chladičem, výkonový obvod L6203 s chladičem, řídicí obvod L6506 umístěný v patici a konektor paralelního portu pro vstupy hodnot z programovatelného automatu. Modul je umístěn v plastové krabici, která byla prvně zakoupena a podle její velikost byl navrhnut i plošný spoj. Vstupy a výstupy modulu jsou vyvedeny už díky zmíněnému paralelnímu portu a třem robustním konektorům s různým počtem pinů. Zde je výhoda, že při zapojení úlohy nelze zaměnit jednotlivé konektory a nedojde k případné poruše nebo zkratu. Na třípinový konektor je přivedeno napětí 24 V ze zdroje. Díky čtyřpinovému konektoru je motor připojen k modulu a na pětipinový konektor jsou přivedeny signály z IRC snímače. Výsledná podoba modulu v je uvedena na obr. 25 a další fotografie jsou uvedeny v příloze 1.



Obr. 25 Modul pro řízení stejnosměrného motoru

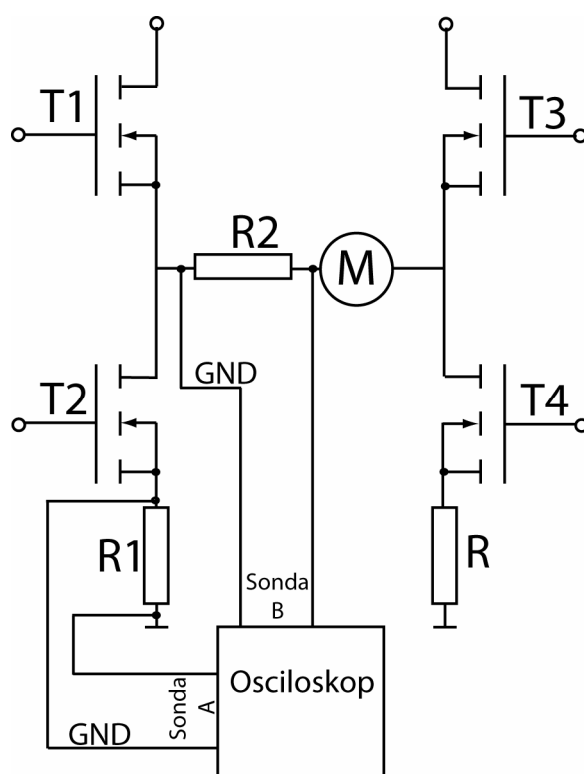
4.6 Problémy spojené s oživováním modulu

Jelikož už během návrhu desky plošného spoje modulu pro řízení stejnosměrného motoru byla již větší část zapojení vyzkoušena v samostatných segmentech na nepájivém poli, tak se neočekávalo, že by nastali nějaké větší komplikace při oživování desky plošného spoje. Jak se později potvrdilo, byla zvolena vhodná strategie, protože oživení desky plošného spoje a tím i samého modulu proběhlo bez nějakých větších problémů. Vyskytli se spíše dva problémy, které nebyly spojeny ani tak s deskou plošného spoje, ale byly ovlivněny jinými faktory.

Prvním takovým problémem bylo zjištění, že použitý mikrořadič nebyl schopen pracovat z důvodu rychlosti zároveň při čítání signálů z IRC snímače a zároveň generovat PWM signál pro řídicí obvod L6506. Problém se projevil až při nahrání kompletního programu do mikrořadiče. Nejednalo se ovšem o nějak závažný problém, který by omezil funkci laboratorní úlohy, protože impulzy z IRC snímače jsou prioritně čítány programovatelným automatem. Problém by mohl být vyřešen použitím dvou mikrořadičů nebo jednoho výkonnějšího.

Druhý problém vznikl čistě náhodně a s nadsázkou řečeno, byl velmi drazě zaplacen. Při měření osciloskopem OWON na výkonovém obvodu L6203, bylo potřeba změřit proud protékající motorem. Měření bylo provedeno na výkonovém odporu a zároveň bylo potřeba měřit, co tento výkonový obvod posílá na svůj výstup, tedy na svorky motoru. Sonda A z osciloskopu byla připojena na snímací odpor R1 a sonda B osciloskopu paralelně k odporu R2, viz. obr. 26. V ten moment, kdy bylo přivedeno

napájení na svorky modulu, došlo ke zkratu a k zničení výkonového obvodu a pojistky, která zachránila zbytek integrovaných obvodů na plošném spoji. Po překontrolování zapojení a dalších míst, kde by se mohl objevit zkrat, nebyl nalezen žádný problém. Došlo tedy na výměnu výkonového obvodu a pojistky a k opětovnému přivedení napětí. Následoval stejný průběh se zničením výkonového obvodu a pojistky. Na řadu tedy přišlo kompletní překontrolování i banálních věcí, které by neměly mít na chod motoru žádný vliv. Ukázalo se, že osciloskop OWON nemá galvanicky oddělené země a tím pádem docházelo ke zkratu a k zničení pojistky spolu s výkonovým obvodem. Jak je uvedeno v kap. 3.4, nesmí být spojeny dva tranzistory nad sebou, jinak dojde ke zkratu. V uvedeném zapojení došlo z důvodu společné země ke spojení T1 a T2 a následně ke zkratu a k zničení obvodu.



Obr. 26 Připojení osciloskopu při měření u obvodu L6203

5 DOTYKOVÝ DISPLEJ GOT 1155 A JEHO OVLÁDÁNÍ

Aby bylo vůbec možné ovládat stejnosměrný motor a zadávat požadované hodnoty rychlosti otáčení a polohy natočení motoru, bylo zapotřebí přijít s konkrétním řešením. Možností je samozřejmě zadávání požadovaných hodnot přímo v programu STEP7 – MicroWin. Tato varianta byla použita, ale pouze při ladění programu, ne vždy při ovládání bude PC pomocí kterého budou zadávány hodnoty. Problém byl vyřešen v době, kdy společnost Mitsubishi Electric dodala dotykové displeje do laboratoře programovatelných automatů. Díky široké univerzálnosti tohoto dotykového displeje je umožněna vzájemná komunikace i s jinými automatizačními prvky od jiných výrobců.

5.1 Charakteristika a vlastnosti dotykového displeje GT 1155-QSBD

Společnost Mitsubishi Electric svou řadou dotykových displejů GOT1000 zavedla nový rozměr v komunikaci „člověk – stroj“. Při vývoji se nevycházelo pouze z přání pozdějších uživatelů, ale i z pokročilých technologií a obrovských zkušeností, jež se odvíjely z dlouholeté výroby operátorských terminálů. Nové terminály, mezi které patří i námi zvolený dotykový displej GT1155-QSBD, jsou vybavené řadou nových funkcí. Obsahují 64 bitový RISC procesor, který je kombinován s velmi rychlým grafickým procesorem. Výsledkem této kombinace je velmi krátká doba odezvy a vytvoření obrazu. Díky USB rozhraní na přední straně přístroje je možné přenášet data, aniž by bylo nutné nějakým složitým způsobem zasahovat do konstrukce displeje. [10]

Inovativní systém chybových hlášení zajišťuje rychlé rozpoznání chyb, čímž minimalizuje potenciálně vznikající problémy. Předem definované obrazy umožní reagovat na kritické situace, které nastaly za běhu programu. Díky těmto obrazům lze potencionální problémy odstranit. [10]

Kromě širokého spektra podporovaných produktů z vlastních řad lze řadu GOT 1000 připojit také k automatizačním zařízením jiných výrobců. Díky tomu mohou uživatelé pro své aplikace využít vizualizační řešení přesahující jednotlivé systémy. Zatížení procesoru připojeného programovatelného automatu nebo jiných automatizačních komponent je možné redukovat skripty. Tyto skripty jsou vytvořeny speciálně pro potřeby řady GOT a podobají se programovacímu jazyku C. Programátoři tak mohou pracovat s editory, na které jsou zvyklí a jednoduchým, flexibilním způsobem rozšířit funkčnost operátorských panelů. [10]

Pokročilý grafický software GT Designer 2 s rozsáhlou knihovnou grafických prvků umožňuje snadno a rychle graficky atraktivní obrazovky. Integrovaná funkce průvodce pomáhá uživatelům při zakládání nového projektu. [10]



Obr. 27 Dotykový displej GOT 1155 – QSBD [10]

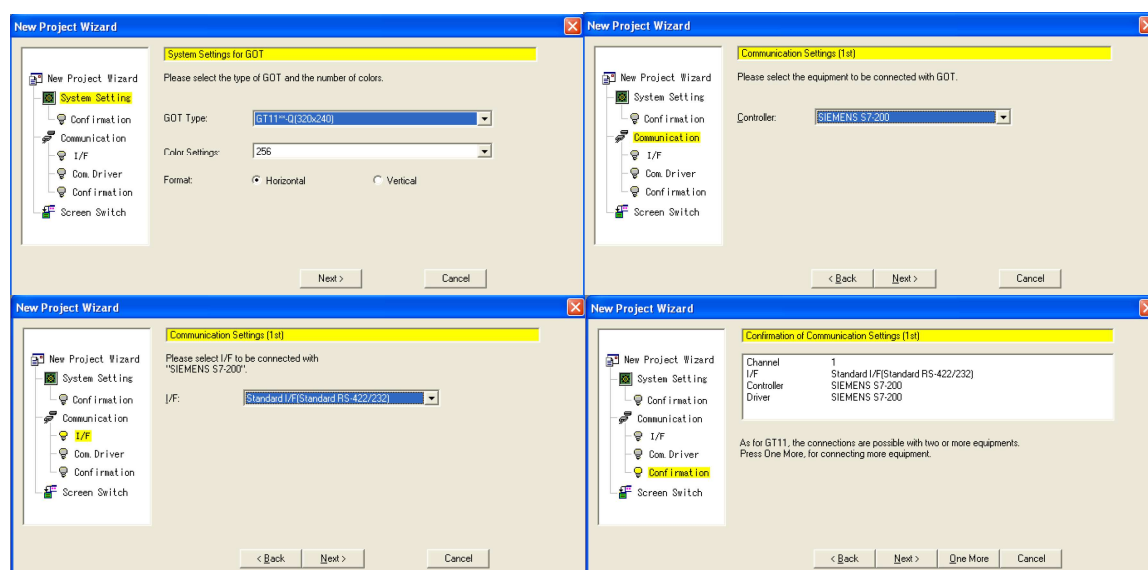
Základní vlastnosti dotykového displeje:

- 256 barev,
- úhlopříčka 145 mm,
- rozměry 115 x 86 mm,
- STN displej,
- rozlišení 320 x 240 pixelů,
- napájecí napětí 24 V DC,
- 64 bitový RISC procesor,
- 3 MB interní paměti,
- externí paměťová karta Compact Flash, max. 2 GB,
- rozhraní RS-232, RS-485, USB mini,
- krytí IP67.

5.2 Vývojové prostředí GT Designer 2

Aby bylo možné řídit motor pomocí dotykového displeje, je potřeba vytvořit pomocí programu GT Designer 2 od Mitsubishi Electric vhodnou vizualizaci dané úlohy tak, aby byl pozdější nezaškolený uživatel schopen ovládat motor bez sebemenšího problému. GT Designer 2, který je částí balíku GT Works 2, je vývojový program určený pro vytváření obrazů operátorských panelů pro řady GOT900 a GOT1000. Uživatelsky přívětivé prostředí Windows poskytuje uživatelům jednoduché a známé rozhraní, snižuje

dobu učení uživatele a s tím spojené náklady na školení. Vývojové prostředí není nějak složité, je potřeba pochopit nastolenou situaci a přijít na způsob, jak navzájem komunikuje dotykový displej s programovatelným automatem. Jak už bylo v úvodu k dotykovému displeji zmíněno, má v sobě integrovaného průvodce, který provede veškerým nastavením od spárování zařízení až třeba k volbě jasu. Důležitý průvodce je také v programu GT Designer 2, jenž uživatele provede výběrem konkrétního displeje. V této laboratorní úloze byl vybrán GOT GT 1155, bylo zvoleno barevné nastavení a horizontální zobrazení obrazů. V dalším kroku byl vybrán programovatelný automat Siemens, modelová řada S7-200. Pro potřeby této úlohy bylo zvoleno komunikační rozhraní RS-232/422. Posledním krokem je kontrola zvoleného nastavení a přechod na samotnou tvorbu obrazů v hlavním programu.

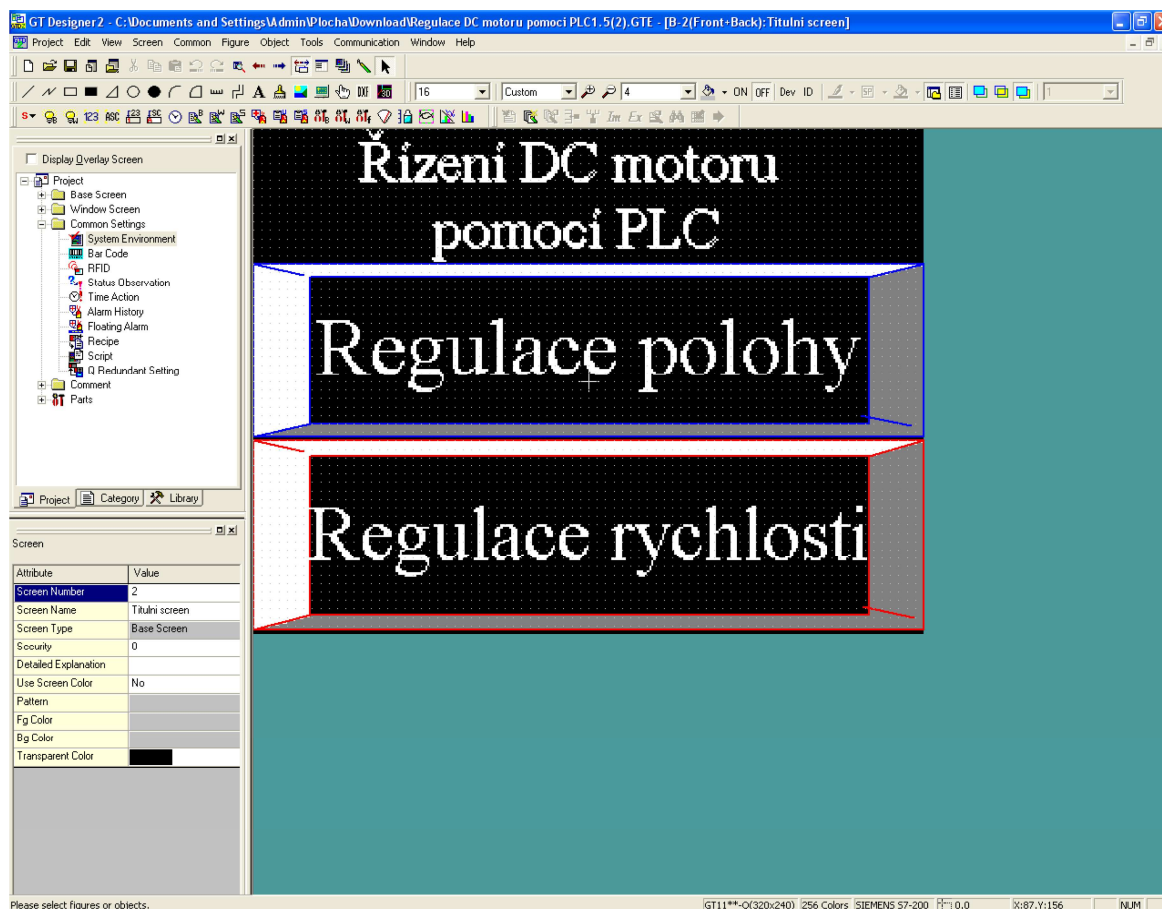


Obr. 28 Počáteční nastavení při spuštění nového projektu

Po tomto počátečním nastavení v GT Designeru se provede stejné nastavení a to přímo v operačním systému displeje. Pak můžeme přejít k tvorbě vizualizace. Jak je znázorněno na obr. 29 program GT Designer je uživatelsky přívětivý. Výrobce na svých webových stránkách poskytuje podrobný návod, kde vysvětluje funkci jednotlivých komponent a další nastavení. Nejprve bylo přistoupeno k nastudování návodu a poté byly provedeny dílčí zkoušky na jednoduchých příkladech, ze kterých bylo zřejmé jak komunikuje programovatelný automat s dotykovým displejem.

Jako jedním z problémů se ukázalo rozdílná deklarace proměnných v prostředí dotykového displeje a programovatelného automatu. U displeje byla reprezentována výstupní hodnota jako word a u programovatelného automatu byla nedeklarovaná jako double word. Další problém byl řešen při zadávání hodnot na displeji. Zadávání hodnoty rychlosti otáčení motoru je uvažováno tak, že se hodnota otáček zadává v rozmezí -1 až +1, tedy od 0 - 100% s tím, že se motor může točit jak doprava, tak i doleva, proto hodnota -1 až +1. Problém spočíval v tom, že se dala pomocí displeje nastavit hodnota jiná, která neodpovídala již zmíněnému rozsahu hodnot. Výrobce v manuálu uvádí, že se dá nastavit rozsah, pokud je povoleno speciální podnastavení v možnostech programu. Po tomto nastavení byl zadán rozsah zadávaných hodnot a na displeji už nelze zadat jinou hodnotu, než právě ve zvoleném rozsahu. Po vyřešení nastíněných problémů byla tvorba

jednotlivých obrazů snadná. Snahou bylo vytvořit uživatelsky přívětivé prostředí, viz. obr. 29.

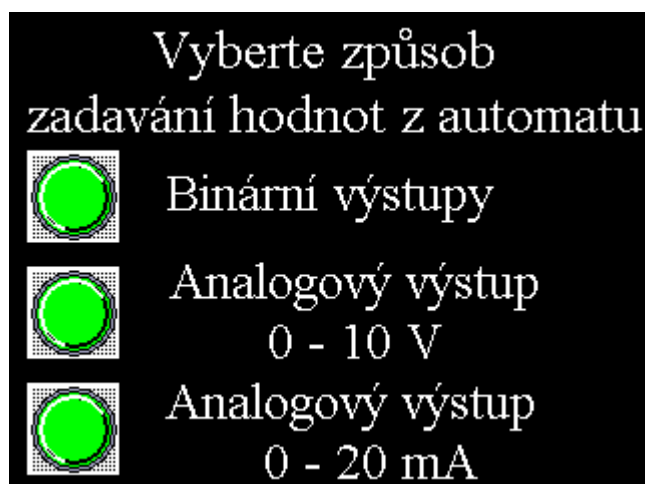


Obr. 29 Vývojové prostředí GT Designer 2

5.3 Ovládání stejnosměrného motoru pomocí dotykového displeje

V této kapitole budou popsány výstupní obrazy displeje, které byly navrženy pro ovládání stejnosměrného motoru. Celé schéma ovládání displeje vychází z hlavního obrazu, který se objeví po přivedení napětí na svorky dotykového displeje.

První obraz, viz. obr. 30, na který narazí uživatel při spuštění laboratorní úlohy, je volba zadávání hodnot z programovatelného automatu. Uživatel má na výběr ze tří možností, viz. kap. 4.2.5. Tato volba musí být provedena hlavně z praktického hlediska, aby uživatel věděl, s jakými výstupy programovatelného automatu laboratorní úloha pracuje, ale i proto, že u binárních a analogových výstupů je odlišný rozsah akční veličiny rychlosti. Zvolením konkrétního výstupu je dán automatu podnět, s jakým rozsahem akční veličiny má pracovat.



Obr. 30 Volba zadávání hodnot z programovatelného automatu

Po volbě zadávání hodnot z automatu, která je uživateli zobrazena pouze při startu displeje, uživatel volí, zda motor bude regulován na polohu natočení nebo na rychlost otáčení, viz. obr. 31.



Obr. 31 Výběr polohové nebo rychlostní regulace motoru

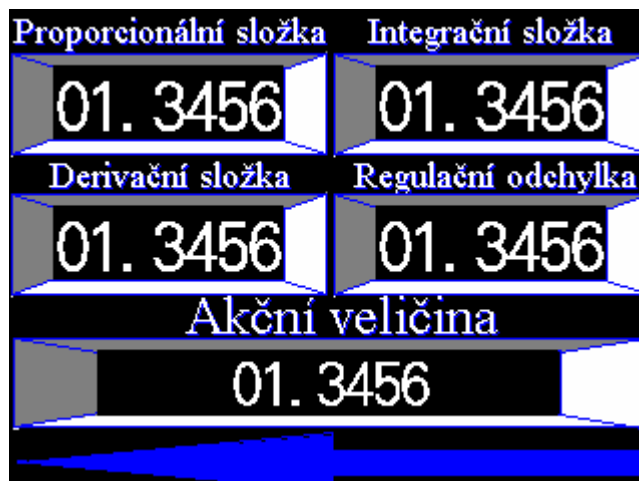
Volba regulace je dále rozlišena barevně. Polohové regulaci motoru je přidělena modrá barva a regulaci rychlosti otáčení motoru náleží barva červená. Názorněji je volba zobrazena na obr. 32, kde jsou zobrazeny obě varianty výběru.

Hodnota je zadávána pomocí numerické klávesnice, která se uživateli objeví vždy, když poklepe na příslušné místo na displeji se zobrazovanou hodnotou. Jak už bylo zmíněno výše, nejde zadat libovolnou hodnotu, což je vidět v pravé části obr. 32, kde je názorně zobrazeno, že u žádané hodnoty otáček lze zadat řádově jednotky plus znaménko. Tato hodnota je dále omezena jen na rozsah -1 až +1. U žádané hodnoty polohy lze zadat hodnota řádově ve stovkách plus znaménko, zde rozsah není omezen. Pod hodnotou žádané hodnoty otáček (natočení) je zobrazena hodnota skutečných otáček (natočení). Teto zobrazení slouží k tomu, aby měl uživatel dokonalý přehled o tom, jak se liší skutečná hodnota od hodnoty, kterou sám požaduje.

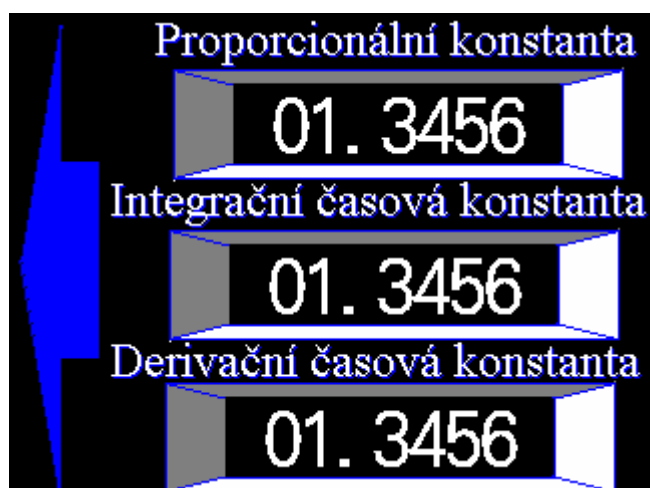


Obr. 32 Výběr polohové nebo rychlostní regulace motoru

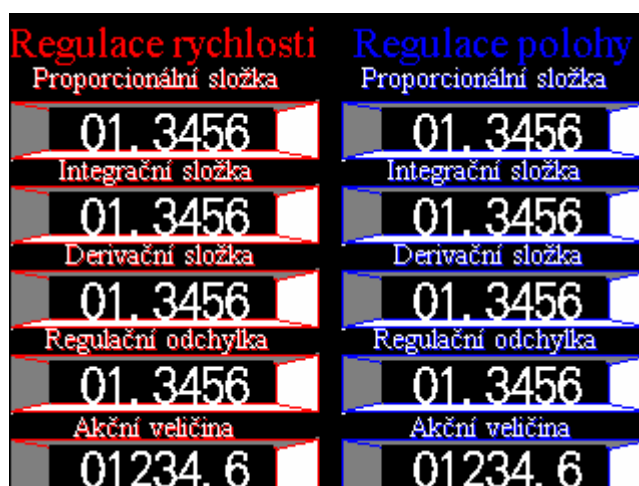
Na spodních třech tlačítkách lze zvolit podrobný výpis hodnot, nastavení a celkový souhrn hodnot. Pod tlačítkem „Podrobný výpis“ může uživatel monitorovat proporcionální, sumační a derivační složku regulace. Součtem těchto tří složek vznikne akční veličina, která je také zobrazena spolu s regulační odchylkou. Obraz podrobného výpisu je zobrazen na obr. 33. Tlačítko „Nastavení“ umožňuje zvolit obraz, kde může uživatel libovolně měnit proporcionální, sumační i integrační složku a tedy měnit kompletně parametry regulace, které jsou nastaveny jako výchozí hodnoty v programovatelném automatu. Obraz nastavení je zobrazen na obr. 34. Posledním ze zobrazených tlačítek je „Celkový souhrn“, kde může uživatel sledovat stejně jako u podrobného výpisu všechny složky regulace spolu s akční veličinou a regulační odchylkou s tím rozdílem, že v celkovém souhrnu jsou tyto složky zobrazeny jak pro regulaci rychlosti, tak i pro regulaci polohy. Uživatel pak může tyto parametry porovnat. Celkový souhrn, viz. obr. 35 je přístupný pouze u obrazu pro regulace polohy. Na každém, z již zmíněných obrazů, je vždy v levé části zobrazena šipka modré nebo červené barvy, která odkazuje na možnost návratu, ať už k regulaci polohy nebo rychlosti.



Obr. 33 Obraz podrobného výpisu pro regulaci polohy



Obr. 34 Obraz nastavení pro regulaci polohy



Obr. 35 Obraz celkového souhrnu pro regulaci polohy

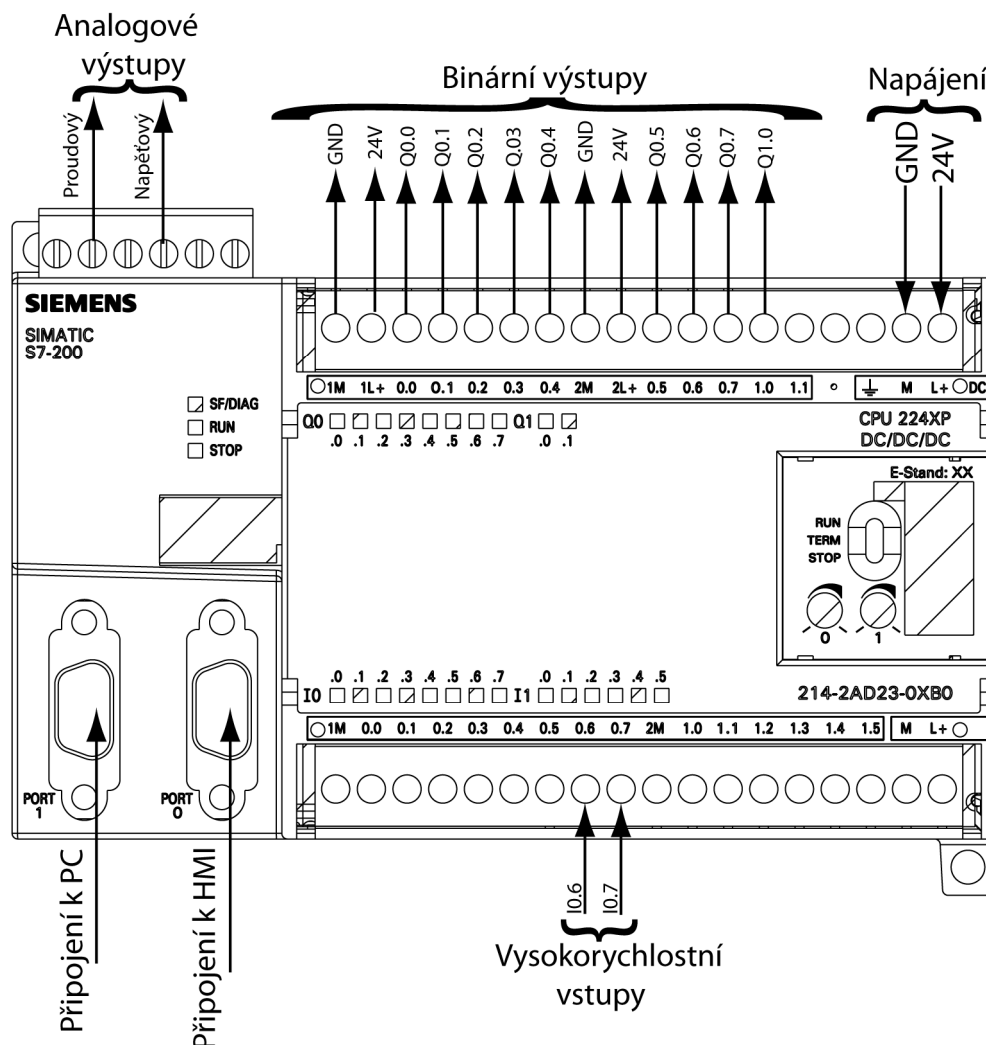
6 ZAPOJENÍ PLC A JEHO PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

6.1 Výběr automatu

Základní myšlenkou řízení stejnosměrného motoru programovatelným automatem bylo nutno podpořit vhodným výběrem samotného automatu. Na úplném začátku bylo na výběr ze tří automatů a nezbylo nic jiného, než postupovat vylučovací metodou volbou vhodných parametrů daného automatu. Výběr byl ze dvou automatů od společnosti Phoenix Contact, a to konkrétně z automatů modelových řad ILC 150 a ILC 350. Zbýlý automat byl od společnosti Siemens z modelové řady Simatic S7-200, konkrétně Simatic S7-224XP. Postupem času se ukázalo, že klíčovým parametrem u vybíraného automatu budou vysokorychlostní vstupy, které budou snímat signál od IRC snímače. Po prvotním vyzkoušení a nastudování manuálů od jednotlivých automatů bylo zjištěno, že automaty od společnosti Phoenix Contact toho nejsou schopny bez použití speciálního modulu s vysokorychlostními vstupy, který naše laboratoř nevlastní a v dané době nebyly prostředky na jejich zakoupení. Proto byl zvolen automat Simatic S7-224XP, jenž má vysokorychlostní vstupy přímo integrovány.

6.2 Zapojení automatu

Zapojení programovatelného automatu je zobrazeno na obr. 35. Z obrázku je zřejmé, že do automatu vstupují pouze dva vstupy, signály z IRC snímače, které jsou přivedeny na vysokorychlostní vstupy I0.6 a I0.7. Tyto impulzy jsou čítány v kvadrurním režimu. V kap. 4.2.5 již bylo zmíněno, že hodnoty k řízení motoru lze zadávat třemi možnými způsoby. V horní části obrázku jsou zobrazeny binární výstupy a analogové výstupy, konkrétně napěťový a proudový. Binárních výstupů Q0.0 - Q0.7 je osm plus bit Q1.0, který udává směr otáčení motoru. U analogových výstupů je posílána hodnota 0 - 10 V, respektive 0 - 20 mA spolu s bitem Q1.0. Důležitou roli zde představují i dva porty RS485 integrované v levé dolní části automatu. Port 0 slouží ke spojení automatu s PC, tedy k programování a k přenosu provozních dat při ladění programu. Port 1 slouží ke spojení s dotykovým displejem GOT 1155 QSBD. Jedná se zde o obousměrný přenos dat mezi automatem a displejem. Z displeje do automatu jsou zadávány žádané hodnoty rychlosti otáčení a polohy natočení motoru. Z automatu jsou na displej posílány aktuální hodnoty otáčení a natočení, dále pak také hodnoty akčního zásahu, regulační odchylky a hodnoty jednotlivých složek regulace. Automat je napájen 24 V ze společného zdroje, který napájí také dotykový displej a modul pro řízení stejnosměrného motoru.



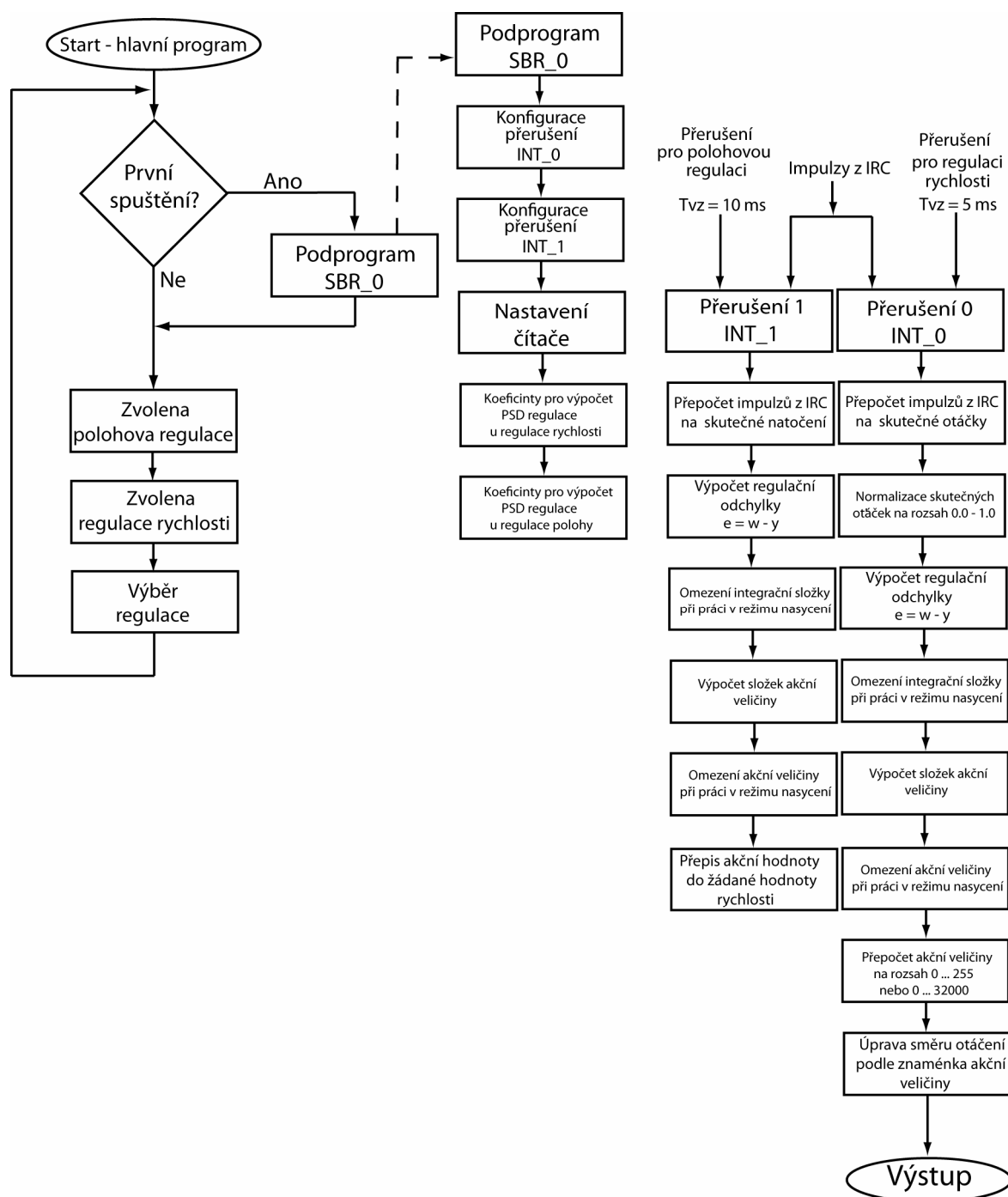
Obr. 35 Zapojení PLC Simatic S7-224 XP [5]

6.3 Programové vybavení automatu a popis vývojového diagramu programu

Programování a konfigurace automatu probíhalo ve vývojovém prostředí STEP 7 – Micro/WIN32 verze 6.0. V tomto prostředí je umožněno programovat v jazyce mnemokódu (STL), kontaktních schémata (LAD) nebo funkčních bloků (FBD). V naší laboratorní úloze byl zvolen jazyk mnemokódu (STL).

Na obr. 36 je uveden vývojový diagram programu, jenž je nahrán v programovatelném automatu a pomocí kterého je realizována regulace rychlosti otáčení a polohy natočení stejnosměrného motoru.

Program je složen ze čtyř stěžejních částí. Prvotně to je hlavní program, ze kterého je pouze jednou volán podprogram SBR_0. V podprogramu SBR_0 je nakonfigurováno přerušení INT_0 pro regulaci rychlosti a přerušení INT_1 pro regulaci polohy.



Obr. 36 Vývojový diagram programu v PLC

6.3.1 Popis hlavního programu

Hlavní program je spuštěn cyklicky a je v něm prvotně testováno, zda je podprogram SBR_0 spuštěn poprvé, nebo už byl spuštěn. Toto testování zajišťuje bit SM 0.1, který je zapnut pouze při prvním programovém cyklu. Jestli už byl podprogram jednou spuštěn, tak je jeho volání přeskočeno. V hlavním programu je dále testováno, jaký byl zvolen obraz na dotykovém displeji. Existují tři základní obrazy, které uživatel může vybrat a jejichž výběr je signalizován automatu. Prvním obrazem je výběr mezi polohovou

a rychlostní regulací. Druhý obraz je zobrazen v tom případě, je-li zvolena regulace polohy na dotykovém displeji a třetí obraz je zobrazen, pokud byla zvolna na dotykovém displeji regulace rychlosti.

První obraz výběru, viz. obr. 31 z kap. 5.1, je základní a z tohoto obrazu vychází výběr polohové nebo rychlostní regulace. Jestliže je tento obraz zvolen, tak v programu je tato možnost ošetřena příznakem z dotykového displeje. Dotykový displej programovatelnému automatu signalizuje, jaký obraz byl vybrán tím, že nastaví hodnotu jedna, dva nebo tři do proměnné MW 20, která je v programu deklarována jako Obraz. V případě, že je na dotykovém displeji zvolen první obraz, výběr mezi regulací polohy nebo rychlosti, je do proměnné Obraz uložena hodnota 3. Automat testuje, je-li tato hodnota z dotykového displeje nastavena a v případě, že ano, dojde k nastavení hodnoty 0 do vysokorychlostního čítače a postupně dojde k vynulování binárního a analogového výstupu. Jsou nulovány i žádané hodnoty rychlosti a polohy. Je-li na displeji zvolen tento obraz, motor je zastaven a čeká, jakou variantu regulace uživatel z dotykového displeje zvolí.

```
LDW=      3, Obraz
MOV D      +0, SMD48
HSC        1
MOV B      0, QB0
MOV W      0, AQW0
MOV R      0.0, rv_ZaHoOt
MOV R      0.0, rp_ZaHoNat
```

V případě, že je na dotykovém displeji zvolen druhý obraz, regulace polohy, je do proměnné Obraz uložena hodnota 1. Automat testuje, je-li tato hodnota z displeje nastavena a v případě, že ano, tak dojde zadání žádané hodnoty polohy a k výpočtu akční veličiny polohy, která je poté přesunuta do žádané hodnoty rychlosti.

```
LDW=      1, Obraz
MOV R      rp_AkVe, rv_ZaHoOt
```

V případě, že je na dotykovém displeji zvolen třetí obraz, regulace rychlosti, je do proměnné Obraz uložena hodnota 2. Automat testuje, je-li tato hodnota z displeje nastavena a v případě že ano, je porovnávána žádaná hodnota otáček s nulou. Není-li žádaná hodnota nastavena, žádaná hodnota otáček je rovna nule, je požadavek, aby motor stál a to znamená poslat na binární a analogový výstup nulovou hodnotu. Jestliže je žádaná hodnota otáček různá od nuly, tak dojde k přepisu žádané hodnoty z displeje do žádané hodnoty v automatu a k otáčení motoru požadovanou rychlostí na jednu či druhou stranu.

```
LDW=      2, Obraz

LDR=      0.0, rv_ZaHoOt
MOV B      0, QB0
MOV W      0, AQW0
MOV R      0.0, rv_ZaHoOt

LDR>      0.0, rv_ZaHoOt
MOV R      rv_ZaHoOt, rv_ZaHoOt
LDR<      0.0, rv_ZaHoOt
MOV R      rv_ZaHoOt, rv_ZaHoOt
```

6.3.2 Popis podprogramu SBR_0

Podprogram SBR_0 je spuštěn pouze jednou a je v něm nakonfigurováno přerušení pro regulaci polohy a regulaci rychlosti. Dále je v tomto podprogramu inicializován vysokorychlostní čítač a jsou spočítány koeficienty pro výpočet PSD regulace pro regulaci polohy a rychlosti.

Přerušení 0 pro regulaci rychlosti otáčení motoru je voláno po 5 ms. Hodnota periody přerušení je uložena v proměnné rv_Tvzms. Hodnota z proměnné rv_Tvzms je přesunuta do speciálního paměťového bytu SMB 34, který specifikuje interval spouštění časového přerušení 0. Příkaz ATCH přiřadí časové přerušení 0 k podprogramu INT_0.

```
MOVB    rv_Tvzms, SMB34
ATCH    INT_0, 10
```

Přerušení 1 pro regulaci polohy natočení motoru je voláno po 10 ms. Hodnota periody přerušení je uložena v proměnné rp_Tvzms. Hodnota z proměnné rp_Tvzms je přesunuta do speciálního paměťového bytu SMB 35, jenž specifikuje interval spouštění časového přerušení 1. Příkaz ATCH přiřadí časové přerušení 1 k podprogramu INT_1. Přerušení pro regulaci rychlosti a polohy je povoleno příkazem ENI.

```
MOVB    rp_Tvzms, SMB35
ATCH    INT_1, 11
```

```
ENI
```

Důležitým krokem v podprogramu SBR_0 je inicializace vysokorychlostního čítače. Do speciálního paměťového bytu SMB47 je přiřazena hodnota F8, která má za následek povolení čítače, zápis nové aktuální hodnoty, zápis nové požadované hodnoty, nastavení směru počítání čítače nahoru a nastavení kvadrurního režimu. Instrukce HDEF definuje vysokorychlostní čítač a přiřadí režim číslo 9 vysokorychlostnímu čítači 1. Do SMD 48 je přesunuta nula, aby byla vymazána aktuální hodnota čítače. Musí být provedena instrukce HSC, aby programovatelný automat naprogramoval čítač HSC1.

```
MOVB    16#F8, SMB47
HDEF    1, 9
MOVD    +0, SMD48
HSC     1
```

Posledním krokem v podprogramu SBR_0 je výpočet koeficientů pro PSD regulaci. Je uveden pouze výpočet koeficientů pro regulaci rychlosti, výpočet koeficientů pro regulaci polohy je totožný, pouze jsou dosazeny jiné hodnoty. Ještě dříve než dojde k výpočtu koeficientů, musí být perioda vzorkování převedena na sekundy, protože integrační i derivační časová konstanta je zadávána v sekundách, kdežto perioda vzorkování v milisekundách. Perioda vzorkování rv_Tvzms je převedena z datového typu byte na datový typ double word, z double wordu na datový typ real, vydělena 1000 a uložena do proměnné rv_Tvz.

Výpočet koeficientů integrační a derivační složky je možno vidět v porovnání vztahů (12) a (13) v kap. 6.4. Kde ve vztahu (13) jsou C_i a C_d značeny jako konstanty. Prvně je vypočítán koeficient integrační složky, kdy je perioda vzorkování podělena integrační časovou konstantou a poté je tento podíl vynásoben zesílením, výsledek je

uložen do proměnné rv_Ci. U koeficientu derivační složky je podíl obrácený. Derivační časová konstanta je podělena vzorkovací periodou a poté je tento podíl vynásoben zesílením, výsledek je uložen do proměnné rv_Cd.

```

MOVD      0, MD16
BTI       rv_Tvzms, MW18
ITD       MW18, MD16
DTR       MD16, rv_Tvz
/R        1000.0, rv_Tvz

MOVR      rv_Tvz, rv_Ci
/R        rv_Ti, rv_Ci
*R        rv_Kp, rv_Ci

MOVD      rv_Td, rv_Cd
/R        rv_Tvz, rv_Cd
*R        rv_Kp, rv_Cd

```

6.3.3 Popis programu pro přerušení 0

Přerušení 0 je časově spouštěný podprogram. V přerušení pro regulaci rychlosti otáčení motoru je přesunuta hodnota aktuálních impulsů z registru vysokorychlostního čítače Hc1 do pomocné proměnné rv_Act_Hc1, od které je odečtena minulá hodnota impulsů v proměnné rv_Old_Hc1. Tím je získán počet impulsů za vzorkovací periodu a tyto impulsy jsou uloženy v proměnné rv_Impulzu. Počet impulsů za minutu je spočítán vynásobením hodnoty v proměnné rv_Impulzu číslem 12000. Hodnota impulsů za minutu je uložena do proměnné rv_Impulzu_min. Je potřeba pracovat se skutečnými otáčkami za minutu. Jak je uvedeno v kap. 3.3, tak kotouč IRC snímače má 660 dílků na otáčku. Jelikož čítáme na vstupu programovatelného automatu impulsy kvadraturním čítačem, dostáváme hodnotu 0 - 2640. Skutečné otáčky jsou spočítány podělením impulsů za minutu hodnotou 2640. Tato hodnota je uložena do proměnné rv_SkuHoOt

```

MOVD      HC1, rv_Act_Hc1

MOVD      rv_Act_Hc1, rv_Impulzu
-D        rv_Old_Hc1, rv_Impulzu

MOVD      rv_Impulzu, Pom
MUL       12000, Pom
MOVD      Pom, rv_Impulzu_min
DTR       Pom, Pom
/R        2640.0, Pom

MOVR      Pom, rv_SkuHoOt
MOVD      rv_Act_Hc1, rv_Old_Hc1

```

Po vypočítání skutečných otáček za minutu je potřeba tuto hodnotu normalizovat. Dojde k podělení skutečných otáček za minutu rozsahem skutečných otáček za minutu a po tomto podílu budou skutečné otáčky v požadovaném rozsahu -1.0 až 1.0. Po normalizaci je vypočítána regulační odchylka rychlosti odečtením skutečných otáček od

žádané hodnoty otáček. Regulační odchylka je uložena do proměnné rv_ReOd a dosazena do PSD algoritmu pro výpočet složek akční veličiny rychlosti.

```
/R          2000.0, rv_SkuHoOt

MOVR       rv_ReOd, rv_ReOd_1
MOVR       rv_ZaHoOt, rv_ReOd
-R         rv_SkuHoOt, rv_ReOd
```

V PSD algoritmu je nejprve spočítána proporcionální složka vynásobením regulační odchylky proporcionální konstantou. Proporcionální složka je uložena do proměnné rv_ProSl. Výpočet integrační složky je dán vztahem (10) z kap. 6.4. Z tohoto vztahu plyne, že regulační složka je dána součtem minulé a aktuální integrační složky. Proto je minulé integrační složka přesunuta do proměnné rv_Int_Sl_1. V dalším kroku následuje příprava integrační složky a výpočet aktuálního přírůstku integrační složky vynásobením aktuální regulační odchylky koeficientem integrační složky. Po výpočtu aktuální integrační složky následuje její součet s minulou hodnotou integrační složky a uložení tohoto výpočtu do proměnné rv_IntSl. Výpočet derivační složky je dán vztahem (11) z kap. 6.4. Z tohoto vztahu plyne, že od aktuální regulační odchylky je odečtena minulé regulační odchylka. Tento rozdíl je poté vynásoben koeficientem derivační složky a přesunut do proměnné rv_DerSl. Jelikož je regulátor rychlosti realizován pouze PS regulátorem, je derivační složka nulována a připravena pro případ, pokud by uživatel chtěl realizovat regulátor rychlosti pomocí PSD regulátoru.

```
MOVR       rv_Kp, rv_ProSl
*R         rv_ReOd, rv_ProSl

MOVR       rv_IntSl, rv_IntSl_1
MOVR       rv_Ci, rv_IntSl
*R         rv_ReOd, rv_IntSl
+R         rv_IntSl_1, rv_IntSl

MOVR       rv_ReOd, rv_DerSl
-R         rv_ReOd_1, rv_DerSl
*R         rv_Cd, rv_DerSl
MOVR       0.0, rv_DerSl
```

Při práci regulátoru v režimu nasycení je nutné omezit velikost integrační složky. V opačném případě dojde k jejímu nárůstu, což vede k prodloužení přechodového děje a tím ke ztrátě dynamiky. V programu je testováno, zda je integrační složka větší než 105 %. V případě, že ano, tak dojde k jejímu omezení.

```
LDR>      rv_IntSl, 1.05
MOVR       1.05, rv_IntSl

LDR<      rv_IntSl, -1.05
MOVR       -1.05, rv_IntSl
```

Po tomto ošetření už může dojít k výpočtu akční veličiny rychlosti součtem proporcionální, integrační a derivační složky.

```

MOVR      rv_ProSl, rv_AkVe
+R        rv_IntSl, rv_AkVe
+R        rv_DerSl, rv_AkVe

```

Jak je uvedeno v kap. 4.2.5, existují tři možnosti, jak lze z automatu posílat hodnotu akční veličiny rychlosti na vstup modulu pro řízení stejnosměrného motoru. V programu je tato možnost ošetřena požadavkem z dotykového displeje, který automatu signalizuje, zda byl vybrán analogový nebo binární výstup tím, že nastaví hodnotu jedna nebo dva do registru MW 22, který je v programu nadeklarován jako Vystup. Toto ošetření je provedeno hlavně z toho důvodu, že binární a analogové výstupy mají jiný rozsah akční veličiny.

V případě, že je na dotykovém displeji vybrán binární výstup z automatu, je do proměnné Vystup uložena hodnota 1. Programovatelný automat testuje, jestli je tato hodnota z displeje nastavena a v případě, že ano, tak dojde k vynásobení akční veličiny rychlosti hodnotou 255 a k zaokrouhlení reálného čísla na celé číslo.

```

LDW=      1, Vystup
*R        255.0, rv_AkVe
TRUNC     rv_AkVe, rv_AkVe

```

Je-li na dotykovém displeji vybrán analogový výstup z automatu, je do proměnné Vystup uložena hodnota 2. Programovatelný automat testuje, jestli je tato hodnota z displeje nastavena a v případě, že ano, tak dojde k vynásobení akční veličiny rychlosti hodnotou 32000 a k zaokrouhlení reálného čísla na celé číslo.

```

LDW=      2, Vystup
*R        32000.0, rv_AkVe
TRUNC     rv_AkVe, rv_AkVe

```

Nezbytným krokem je určení směru otáčení motoru. Jestliže byla žádaná hodnota otáček na dotykovém displeji zadána v záporném rozsahu -1.0 až 0.0, tak uživatel ve skutečnosti požaduje, aby se motor otáčel doprava. Jestliže by zadal hodnotu žádané hodnoty rychlosti v rozsahu 0.0 až 1.0, požaduje otáčení motoru doleva. Jelikož na výstup programovatelného automatu nelze posílat záporné hodnoty akční veličiny rychlosti, je tento problém vyřešen pomocí jednoduchého algoritmu. Akční veličina je porovnávána s nulou a v případě, že je akční veličina menší jak nula, je nastaven bit Q1.0, který je v programu nadeklarován jako Smer a udává, že při nastavení tohoto bitu se má motor otáčet doprava. Akční veličina je poté vynásobená hodnotou -1. Jestliže je akční veličina větší než nula, tak Smer je nenastaven a motor se otáčí doleva.

```

MOVD      rv_AkVe, Pom1

LDD<      rv_AkVe, 0
S          Smer, 1
MUL       -1, Pom1

LD        SM0.0
LDD>      rv_AkVe, 0
R          Smer, 1

```

Posledním krokem v přerušení 0 je zápis akční veličiny na výstup programovatelného automatu. Zde opět nastane problém na jaký výstup akční veličinu rychlosti zapsat. Jelikož byl tento problém řešen u volby výstupu akční veličiny, tak se použije stejná volba.

V případě, že je na dotykovém displeji vybrán binární výstup, je do proměnné Vystup uložena hodnota 1. Automat testuje, zda je tato hodnota z displeje nastavena a v případě, že ano, tak je akční veličina rychlosti převedena do proměnné rv_Vystup a z této proměnné je posláno spodních osm bitů na výstup QB0.

```
LDW=      1, Vystup

MOVD      Pom1, rv_Vystup
MOVB      rv_Vystup_8, QB0
```

Je-li na dotykovém displeji vybrán analogový výstup, je do proměnné Vystup uložena hodnota 2. Automat testuje, zda je tato hodnota z displeje nastavena a v případě, že ano, tak jsou poslány spodní dva byty z proměnné, kde je uložena akční veličina rychlosti na analogový výstup AQW0.

```
LDW=      2, Vystup
MOVW      VW106, AQW0
```

6.3.4 Popis programu pro přerušení 1

Přerušení 1 je časově spouštěný podprogram. V přerušení pro regulaci polohy natočení motoru je prvotně přesunuta hodnota impulzů z registru vysokorychlostního čítače Hc1 do proměnné rp_Impulzu. Poté je tato hodnota převedena na datový typ real, aby mohla být podělena počtem impulzů na otáčku. V tento moment je spočítána skutečná hodnota natočení, která je přesunuta do proměnné rp_SkuHoNat a s touto hodnotou je dále počítáno při výpočtu regulační odchylky.

```
MOVD      HC1, rp_Impulzu

MOVD      rp_Impulzu, MD28
DTR       MD28, MD28
/R        2640.0, MD28
MOVR      MD28, rp_SkuHoNat
```

Programová realizace výpočtu regulační odchylky, PSD regulace a další části programu je totožná s programem, který obsluhuje přerušení 0, proto je zbytečné tento program zde dále rozvíjet a popisovat pouze s jinými hodnotami. Celý program pro programovatelný automat je uložen v elektronické příloze.

6.4 Softwarová realizace PSD algoritmu

Polohová i rychlostní regulace je realizována díky proporcionálně – sumačně – diferenčnímu algoritmu, ve zkratce známější jako PSD algoritmus. [19]

Číslicové PSD regulátory jsou diskrétní analogií spojitých PID regulátorů. Jejich struktura je jako u PID regulátorů pevně dána. Úlohou syntézy diskrétního regulačního obvodu je stejně jako tomu bylo u regulátorů spojitých návrh vhodného typu regulátoru a optimální nastavení jeho parametrů. Číslicové PSD regulátory se spojitým PID regulátorům svým chováním v regulačním obvodu pouze přibližují. Stupňovitý charakter akční veličiny se při zmenšování periody vzorkování efektivně blíží analogovému výstupu. Následkem roste ovšem riziko vzorkování parazitních šumů, jemuž můžeme předcházet filtrací, popř. vhodným numerickým zpracováním signálu. [19]

Diskrétní regulační algoritmy vycházejí z odpovídajících konvenčních spojitých algoritmů. Je-li činnost ideálního spojitého PID regulátoru popsána integračně-diferenciální rovnicí:

$$u(t) = r_0 e(t) + r_{-1} \int_0^t e(t) dt + r_1 \frac{de(t)}{dt} = r_0 \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (5)$$

respektive přenosem:

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1 s = r_0 \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] \quad (6)$$

Kde r_0 označuje proporcionální konstantu neboli zesílení PID regulátoru. Konstanta r_0 je v praxi spíše označována jako K_p , r_{-1} označuje integrační konstantu, r_1 označuje derivační konstantu a $T_i = r_0 / r_{-1}$, resp. $T_d = r_1 / r_0$ integrační, resp. derivační časovou konstantu, pak ekvivalentní PSD regulátor má definovanu hodnotu akční veličiny $u(kT)$ pouze v diskrétních časových okamžicích $t = kT$, $k = 0, 1, 2, \dots$, tedy:

$$u(kT) = r_0 \left[e(kT) + \frac{1}{T_i} I(kT) + T_d D(kT) \right] \quad (7)$$

Kde $I(kT)$ je hodnota integrálu v diskrétním časovém okamžiku $t = kT$ a $D(kT)$ je hodnota derivace v diskrétním časovém okamžiku $t = kT$ (T je perioda vzorkování). Výpočet $I(kT)$ a $D(kT)$ se provádí numericky a jsou k němu nezbytné současné i minulé diskrétní hodnoty regulační odchylky e . Většinou se používají přibližné diskrétní náhrady spojitých algoritmů integrace a derivace. [19]

$$u(k) = K_p \left[e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=1}^k e(i) + \frac{T_d}{T} \{e(k) - e[(k-1)]\} \right] \quad (8)$$

Rovnice (8) představuje nerekurentní vztah regulačního algoritmu. Tato rovnice má však jednu velkou nevýhodu, pro výpočet akční veličiny je potřeba znát všechny předchozí hodnoty $e(k)$. Při programování je rozhodně lepší vztah rekurentní, který je vyjádřen součtem jednotlivých složek. [4]

Vyjádření jednotlivých složek je následující:

$$u_p(k) = K_p e(k) \quad (9)$$

$$u_I(k) = K_p \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^{k-1} e(i) = u_I(k-1) + K_p \frac{T}{T_I} e(k) \quad (10)$$

$$u_D(k) = K_p \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)] \quad (11)$$

$$u(k) = K_p e(k) + u_I(k-1) + K_p \frac{T}{T_I} e(k) + K_p \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)] \quad (12)$$

Vztah (12) můžeme ještě přepsat na tvar:

$$u(k) = K_p e(k) + u_I(k-1) + C_I e(k) + C_D [e(k) - e(k-1)] \quad (13)$$

Kde ve vztahu (13) jsou C_I a C_D značeny jako konstanty. Význam těchto konstant je patrný porovnáním vztahů (12) a (13).

Tento algoritmus je nazýván jako polohovatelný. Výhodou tohoto algoritmu je nastavování jednotlivých činitelů bez interakce. Hodnoty zesílení, integrační a derivační časové konstanty mohou být měněny přímo, aniž by muselo docházet k jejich složitému přepočítávání. Důležitým poznatkem u tohoto algoritmu je nutnost omezení integrační složky režimu nasycení.[4]

V programovatelném automatu je tento algoritmus uveden naprosto stejně s tím rozdílem, že je napsán v jazyku mnemokódu, který je jedním z typických programovacích jazyků pro programovatelné automaty. Můžete sami porovnat rozdíl mezi vztahem (13) a tím stejným vztahem implementovaným v programovatelném automatu.

MOVR	rv_Kp, rv_ProSl
*R	rv_ReOd, rv_ProSl
MOVR	rv_IntSl, rv_IntSl_1
MOVR	rv_Ci, rv_IntSl
*R	rv_ReOd, rv_IntSl
+R	rv_IntSl_1, rv_IntSl
MOVR	rv_ReOd, rv_DerSl
-R	rv_ReOd_1, rv_DerSl
*R	rv_Cd, rv_DerSl

Dále můžete porovnat výpočet konstant ze vztahu (12) s výpočtem konstant opět v jazyku mnemokódu v programovatelném automatu.

MOVR	rv_Tvz, rv_Ci
/R	rv_Ti, rv_Ci
*R	rv_Kp, rv_Ci
MOVD	rv_Td, rv_Cd
/R	rv_Tvz, rv_Cd
*R	rv_Kp, rv_Cd

6.5 Seřízení regulátorů

Aby celá laboratorní úloha pracovala co nejpřesněji a bez sebemenších problémů, musí dojít k seřízení regulátorů polohy a rychlosti. Byla zvolena metoda, která se uplatňuje při provozním zapojení. Znalí v oboru automatizace už jistě vytuší, že pokud se jedná o seřízení v provozním zapojení, tak jde téměř jistě o metodu Ziegler - Nichols.

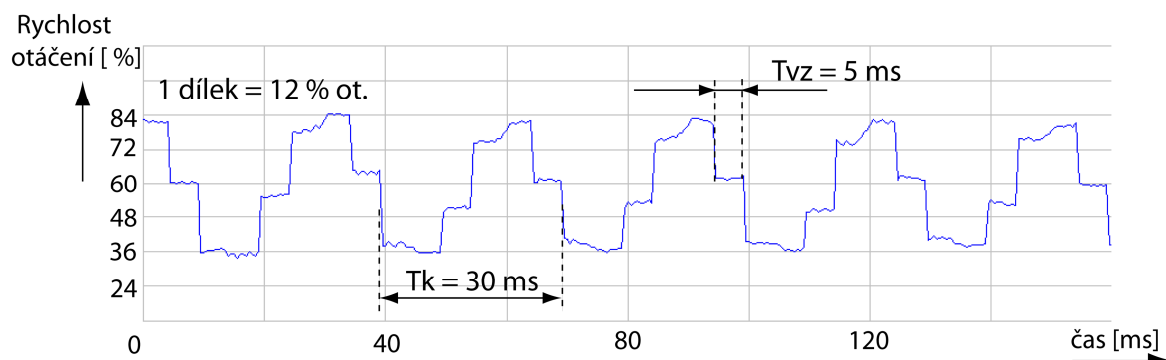
Základní myšlenkou metody Ziegler - Nichols je přivést regulační obvod na hranici stability. Za kritické nastavení považujeme takové, při němž je derivační a integrační složka vyřazena. Postupnou změnou zesílení r_0 je regulační obvod přiveden na hranici stability. Zesílení r_0 , kterým jsme obvod dostali na hranici stability, se nazývá kritické zesílení r_{0k} . Na hranici stability kmitá obvod netlumenými kmitů o konstantní amplitudě a důležité je změřit právě periodu těchto kmitů, a to je tzv. kritická perioda T_k . [20]

Seřízení regulátoru metodou Ziegler - Nichols je jednoduché a v praxi často používané. Zaručuje dobrý průběh regulačního pochodu, nelze však na sto procent tvrdit, že je to nastavení optimální. Je to nastavení blízké optimálnímu. [20]

6.5.1 Nastavení regulátoru rychlosti

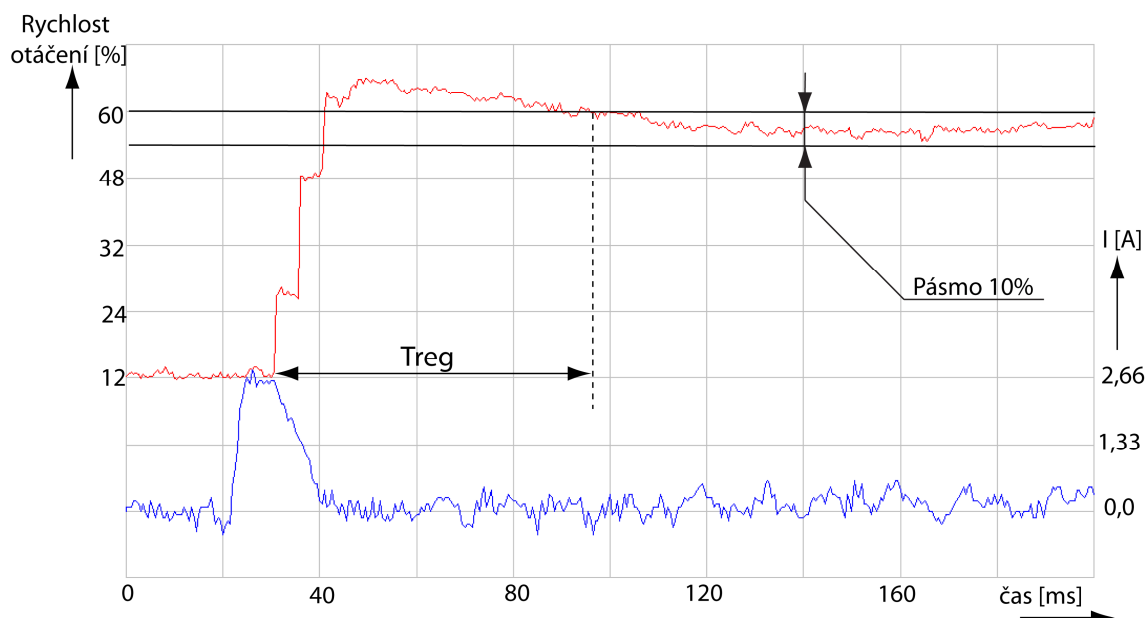
Pro regulaci rychlosti otáčení motoru bylo postačující použít PS regulátor. P složka zkracuje dobu regulačního pochodu a S složka zaručuje přesnost regulace, tedy co nejmenší regulační odchylku.

Nastavení PS regulátoru rychlosti probíhalo podle výše popsaného postupu. Byla vyřazena S složka a bylo zvyšováno zesílení až na mez stability. Blíže to popisuje obr. 37, kde je hranice stability vyznačena u průběhu skutečných otáček, které byly měřeny osciloskopem na napěťovém analogovém výstupu programovatelného automatu. Kritické zesílení je v ten moment 3,5 a kritická perioda T_k přibližně 30 ms. Doba vzorkování T_{vz} je u regulátoru rychlosti nastavena na 5 ms. Všechny přechodové charakteristiky byly měřeny pro skokové změny žádané hodnoty rychlosti od 0 do 0,6.



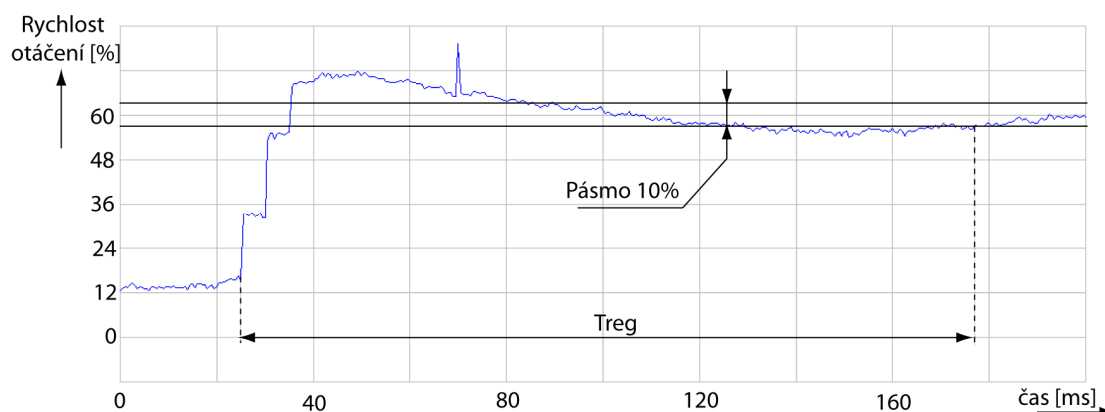
Obr. 37 Hranice stability regulátoru rychlosti, kritické zesílení 3,5

Po určení kritického zesílení a kritické periody bylo na základě těchto výchozích hodnot vypočteno konkrétní nastavení podle Ziegler – Nicholse. Pro PS regulátor byla výpočtem a poté i měřením upřesněno zesílení 1,3 a integrační složka 25 ms. Zesílení a integrační složka jsou po výpočtu pomocí dílčích měření, upraveny tak, aby přechodový děj odezněl v co nejkratší době a zároveň, aby nedocházelo k výrazným překmitům. Po nastavení těchto hodnot bylo provedeno měření odezvy regulačního obvodu na skok žádané hodnoty rychlosti, ze kterého bylo nejlépe poznat, jak obvod reaguje na změny parametrů regulátoru. Z obr. 38, kde je změna skutečných otáček vyznačena průběhem červená barvy, lze vidět, že doba regulačního pochodu je přibližně 65 ms. Proud motorem, průběh modré barvy, byl měřen na výkonovém odporu 0,15 Ω . Z průběhu proudu lze vyzorovat omezení proudu zhruba na 2,7 A po dobu náběhu skutečných otáček nad pásmo 10 %. Nutno podotknout, že toto měření skutečných otáček a proudu probíhalo pouze s plastovou řemenicí na hřídeli motoru, tedy s poměrně malým momentem setrvačnosti.



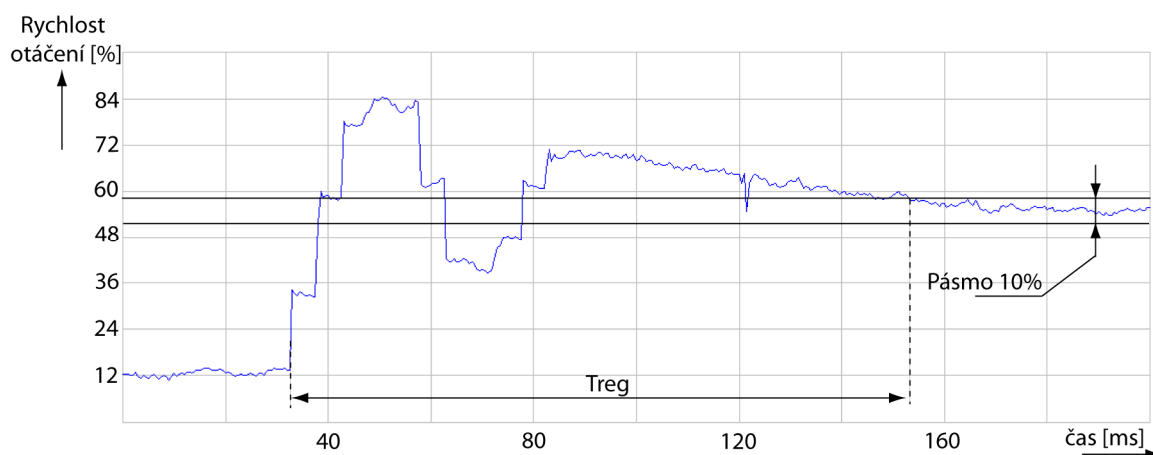
Obr. 38 Optimální nastavení regulátoru rychlosti, $K_p = 1.3$, $T_i = 25$ ms

Pro porovnání s optimálním nastavením regulátoru rychlosti lze uvést dva průběhy skutečných otáček, které mají oproti optimálnímu nastavení horší vlastnosti. Ať už se to týká doby regulačního pochodu nebo velikosti překmitů, které jsou pochopitelně v regulaci nežádoucí. V prvním průběhu, viz. obr. 39 je zesílení zvýšeno na 1,5 a integrační konstanta zůstává nezměněna. Doba regulačního pochodu je v tento moment 152 ms, a to je dost výrazný rozdíl oproti optimálnímu nastavení, kde je doba regulačního pochodu přibližně 65 ms. Nutno podotknout, že došlo k zvětšení zesílení pouze o dvě desetiny oproti optimálnímu nastavení.



Obr. 39 Průběh skutečných otáček při špatném nastavení regulátoru rychlosti,
 $K_p = 1.5$, $T_i = 25$ ms

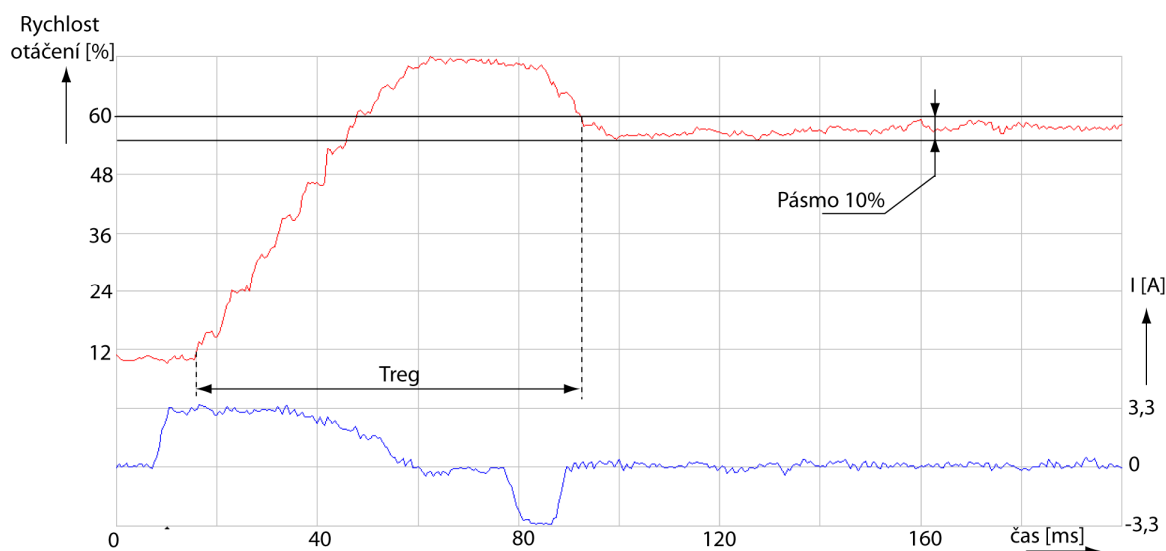
V druhém průběhu, viz obr. 40 je zesílení zvýšeno na 2.0 a integrační konstanta zůstává opět nezměněna. Doba regulačního pochodu je 120 ms, ale došlo k daleko většímu rozkmitání než u předchozích dvou průběhů. Doba ustálení je oproti předchozímu průběhu zlepšená o 30 ms. Zlepšená doba regulace je však nepodstatná, protože došlo k markantnímu nárůstu regulační plochy.



Obr. 40 Průběh skutečných otáček při špatném nastavení regulátoru rychlosti,
 $K_p = 2.0$, $T_i = 25$ ms

Další možným porovnáním s optimálním nastavením regulátoru rychlosti je možnost změny momentu setrvačnosti na hřídeli motoru za jiný moment setrvačnosti. Byla vyměněna plastová řemenice za řemenici duralovou. Muselo dojít k nalezení optimálního nastavení regulátoru s novou řemenicí. Obvod byl přiveden na hranici stability pomocí

výše zmíněného postupu metody Ziegler - Nichols. Tentokrát bylo kritické zesílení 10,9 a kritická perioda 35 ms. Především u zesílení došlo k výraznému nárůstu oproti prvnímu optimálnímu nastavení. Z kritických hodnot bylo znovu vypočteno optimální nastavení pro PS regulátor. Výpočtem bylo stanoveno zesílení na 5,0 a integrační konstanta na 30 ms. Na obr. 41 je zobrazeno optimální nastavení regulátoru rychlosti s duralovou řemenicí.



Obr. 41 Optimalní nastavení regulátoru rychlosti s jiným momentem setrvačnosti na hřídeli motoru, $K_p = 5,0$, $T_i = 30$ ms

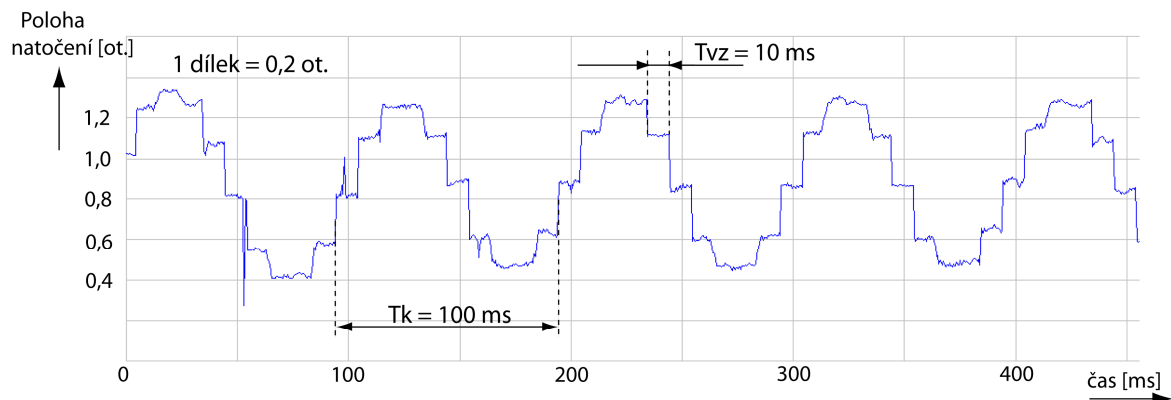
Porovnáme-li optimální nastavení pro plastovou a duralovou řemenici, dojdeme k závěru, že doba regulace je u průběhu s duralovou řemenicí delší, a to díky většímu momentu setrvačnosti. Zajímavé je sledovat chování proudu u průběhu s duralovou řemenicí. Jelikož skutečné otáčky se nachází v nelineárním režimu, je proud na krátkou dobu roven proudu dovolenému někde kolem 3,3 A.

6.5.2 Nastavení regulátoru polohy

Pro regulaci polohy natočení hřídele motoru bylo nutné použít PSD regulátor z toho důvodu, že S složka zajišťuje přesnou polohu hřídele motoru a D složka zaručuje zrychlenou reakci na žádanou změnu polohy natočení, což je u regulace polohy dosti žádaný efekt.

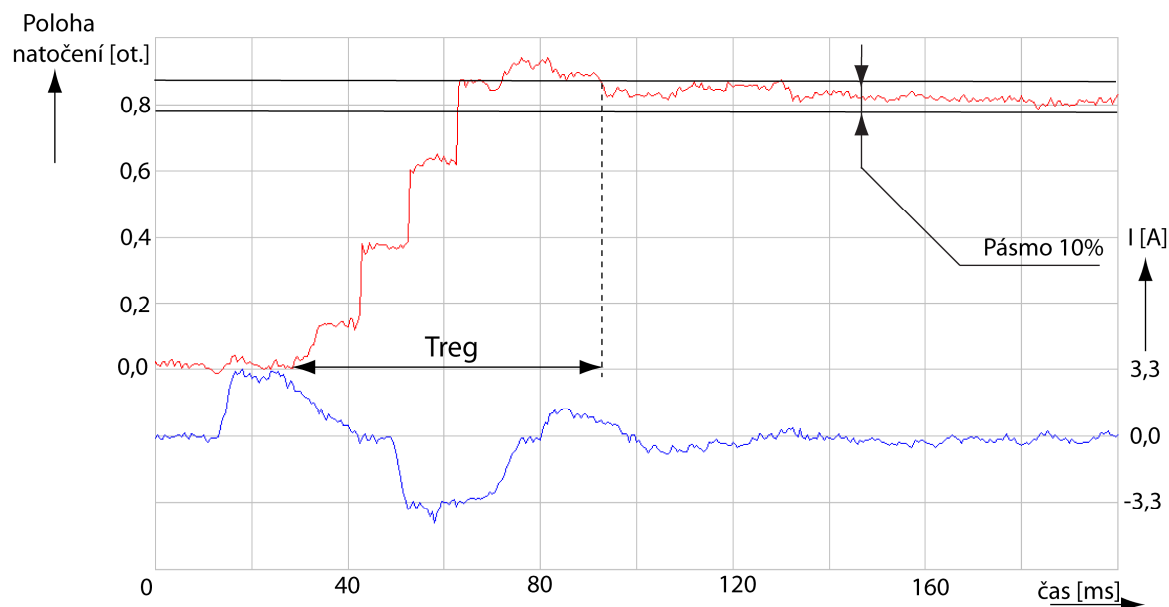
Nastavení PSD regulátoru polohy probíhalo podle výše popsaného postupu. Byly vyřazeny S a D složky a bylo zvyšováno zesílení až na mez stability. Blíže to popisuje obr. 42, kde je hranice stability vyznačena u průběhu skutečných otáček, které byly měřeny osciloskopem na napětovém analogovém výstupu programovatelného automatu.

Kritické zesílení je v ten moment 2,4 a kritická perioda T_k přibližně 100 ms. Doba vzorkování T_{vz} je u regulátoru polohy nastavena na 10 ms a je zřejmé že tato perioda vzorkování musí být větší než u podřízeného regulátoru rychlosti. Všechny přechodové charakteristiky byly měřeny pro skokové změny žádané hodnoty polohy od 0 do 0,8 .



Obr. 42 Hranice stability regulátoru polohy, kritické zesílení 2,4

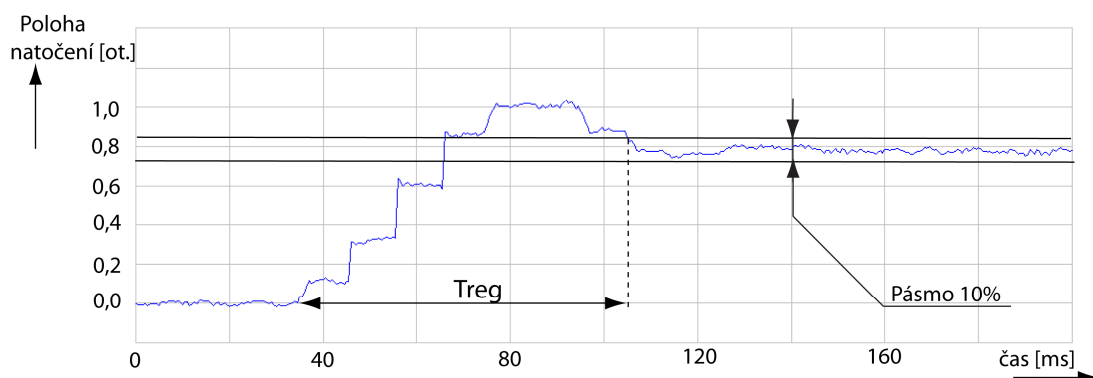
Po určení kritického zesílení a kritické periody bylo na základě těchto výchozích hodnot vypočteno konkrétní nastavení podle metody Ziegler - Nicholse. Pro PSD regulátor byla výpočtem a poté i měřením stanoveno zesílení 1,02, integrační složka 25 ms a derivační složka 15 ms. Zesílení, integrační a derivační složka jsou po výpočtu pomocí dílčích měření, upraveny tak, aby přechodový děj odezněl v co nejkratším čase a zároveň, aby nedocházelo k výrazným překmitům. Po nastavení těchto hodnot bylo provedeno měření odezvy regulačního obvodu na skok žádané hodnoty polohy, ze kterého bylo nejlépe poznat, jak obvod reaguje na změny parametrů regulátoru. Z obr. 43, kde je změna skutečných otáček vyznačena průběhem červené barvy, lze vidět, že doba regulačního pochodu je přibližně 67 ms. Proud motorem, průběh modré barvy, je omezen po dobu náběhu skutečných otáček na 3,3 A a poté jde do záporných hodnot pod dobu nepatrného překmitu skutečného natočení a následuje jeho ustálení kolem nulové hodnoty.



Obr. 43 Optimální nastavení regulátoru polohy, $K_p = 1.02$, $T_i = 60$ ms, $T_d = 15$ ms

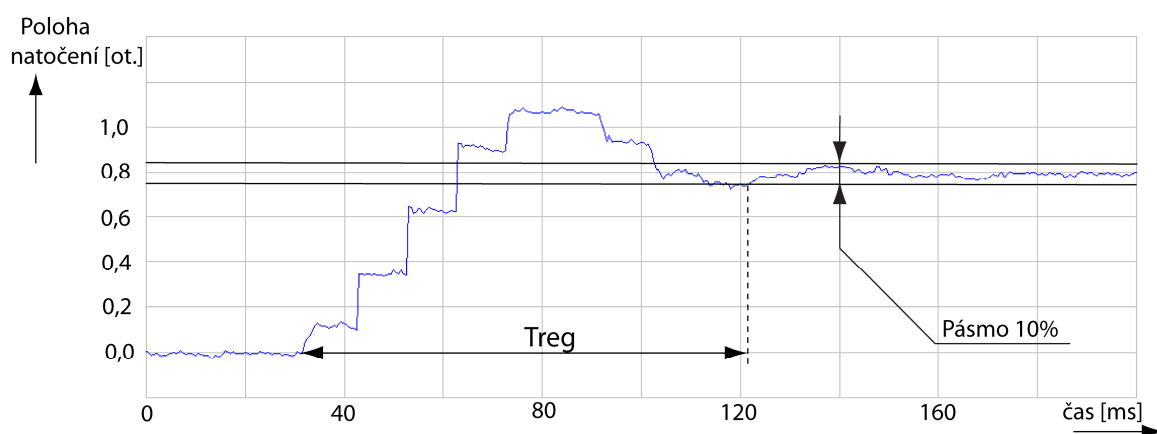
Pro porovnání s optimálním nastavením regulátoru polohy lze uvést dva průběhy hodnoty skutečného natočení, které mají oproti optimálnímu nastavení horší vlastnosti. Ať už se to týká doby regulačního pochodu nebo velikosti překmitů, které jsou pochopitelně v regulaci nežádoucí.

V prvním průběhu, viz. obr. 44 došlo ke změně derivační složky na 20 ms a zesílení a integrační složka zůstaly nezměněny. Doba regulačního pochodu zůstala zachována, protože nebylo změněno zesílení, došlo ale k většímu překmitu v porovnání s optimálním nastavením.



Obr. 44 Průběh skutečných otáček při špatném nastavení regulátoru polohy,
 $K_p = 1.02$, $T_i = 60$ ms, $T_d = 20$ ms

V druhém průběhu viz obr. 45 je zesílení zvýšeno na 1.4, integrační časová konstanta byla nastavena na 50 ms a derivační časová konstanta na 10 ms. U tohoto průběhu už lze odečíst, že se jednak zvýšila doba regulačního pochodu, ale i to že se objevily dva nežádoucí překmity.

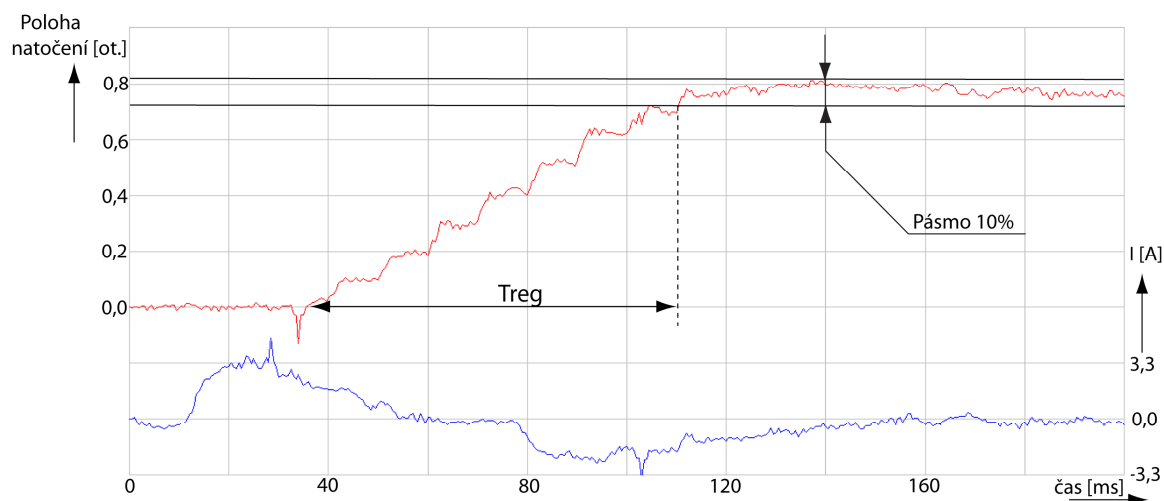


Obr. 45 Průběh skutečných otáček při špatném nastavení regulátoru polohy,
 $K_p = 1.4$, $T_i = 50$ ms, $T_d = 10$ ms

Další možným porovnáním s optimálním nastavením regulátoru polohy je možnost změny momentu setrvačnosti na hřídeli motoru za jiný moment setrvačnosti. Byla k vyměněna plastová řemenice za řemenici duralovou. Muselo dojít k nalezení optimálního nastavení regulátoru s novou řemenicí. Obvod byl přiveden na hranici stability pomocí výše zmíněného postupu metody Ziegler - Nichols. Tentokrát bylo

kritické zesílení 1 a kritická perioda 185 ms. Z kritických hodnot bylo znovu vypočteno optimální nastavení pro PSD regulátor. Výpočtem byla stanovena zesílení na 0.45, integrační konstanta na 30 ms a derivační konstanta na 25 ms. Na obr. 46 je zobrazeno optimální nastavení regulátoru polohy s duralovou řemenicí.

Porovnáme-li optimální nastavení pro plastovou a duralovou řemenicí, dojdeme k závěru, že doba regulace je u průběhu s duralovou řemenicí zhruba stejná. Zajímavé je sledovat chování proudu. Jelikož skutečné natočení se nachází v nelineárním režimu, je proud na krátkou dobu roven proudu dovolenému někde kolem 3,3 A.



Obr. 46 Optimální nastavení regulátoru polohy s jiným momentem setrvačnosti na hřídeli motoru, $K_p = 0.45$, $T_i = 100$ ms, $T_d = 25$ ms

7 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá problematikou řízení stejnosměrných motorů programovatelným automatem. Snahou bylo vytvořit ukázkovou laboratorní úlohu, která posluchače seznámí s problematikou programovatelných automatů a dostatečně objasní navozené situace, které jsou vlivem studia na vysoké škole z teoretického hlediska dobře známy, ale z praktického hlediska s nimi většina posluchačů kurzu s programovatelnými automaty nemá tak velké zkušenosti. Navržená úloha poskytuje dostatečný rozhled o funkci programovatelného automatu jako samotného prvku, ale i jako celku ve spojení s modulem pro řízení stejnosměrného motoru a v neposlední řadě i s dotykovým displejem.

Regulace stejnosměrného motoru byla řešena jako blok tří na sebe navazujících regulátorů. Díky tomu bylo dosaženo přesnější a rychlejší regulace. Bylo by samozřejmě možné vynechat regulátor rychlosti a použít pouze regulátor polohy a proudu, tím by ale chování motoru bylo ochuzeno o potřebnou dynamiku a další vlastnosti, které jsou umožněny právě díky regulaci rychlosti.

Polohové a rychlostní regulace jsou řešeny softwarově v programovatelném automatu. Regulace polohy i rychlosti je založena na PSD algoritmu. Žádanou hodnotu rychlosti vypočítává regulátor polohy, jehož vstupem je poloha z IRC snímače. Žádanou hodnotu proudu vypočítává regulátor rychlosti. Žádaná veličina proudu je přivedena na vstup modulu, který hardwarově obsluhuje proudovou regulaci, bez níž by nebylo možné motor adekvátně řídit. Modul převede žádanou veličinu proudu z programovatelného automatu na signál PWM a ten je poté přiveden na vstup hardwarové regulace proudu.

Po zavedení laboratorní úlohy do výuky, mohou posluchači kurzu postupně na laboratorní úloze aplikovat své znalosti z teoretické výuky. Jedná se především:

- Základní kroky s automatem, jeho chování a zpracování programu,
- základní práce s proměnnými a osvojení základních instrukcí,
- volání a vytváření podprogramů,
- volání přerušení a jejich obsluha,
- inicializace vysokorychlostních vstupů automatu,
- zpracování dat z vysokorychlostních vstupů,
- aplikace PSD algoritmu ve vývojovém prostředí programovatelného automatu,
- aplikace regulace polohy a rychlosti na praktické úloze,
- pochopení vlivu změny parametrů regulace,
- vliv na činnost regulace při nasazení P, S, PS, PD a PSD regulátoru,
- aplikace analogových a binárních výstupů,
- spojení programovatelného automatu a dotykového displeje,
- přístup k hodnotám zadávaných z dotykového displeje,
- základní kroky a nastavení dotykového displeje,
- tvorba vizualizace pro dotykový displej.

Všechny body zadání této diplomové práce byly splněny a laboratorní úloha je plně funkční. Díky vlastní tvorbě této diplomové práce jsem poznal, jak se pracuje na vývoji laboratorní úlohy a na tvorbě aplikace s programovatelným automatem jako celku, ale také jak se postupuje při návrhu plošného spoje, jeho osazování a ve finále s jeho ožíváním. Dále se naučil pracovat s programovatelným automatem a dotykovým displejem, který se stal v laboratorní úloze nepostradatelnou součástí.

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 Blokové schéma laboratorní úlohy	15
Obr. 2 Simatic S7-224XP	18
Obr. 3 Řez stejnosměrným motorem s permanentními magnety [15]	19
Obr. 4 Zjednodušený matematický model stejnosměrného motoru [18]	20
Obr. 5 Princip PWM.....	21
Obr. 6 Stejnosměrný motor napájený konstantním napětím	22
Obr. 7 Příklad proudové, rychlostní a polohové smyčky	22
Obr. 8 Vzor snímacího kotouče	23
Obr. 9 Průběhy výstupních signálů IRC snímače [13].....	24
Obr. 10 Průběhy výstupních signálů IRC snímače [12].....	24
Obr. 11 Vnitřní zapojení výkonového obvodu L6203 [1].....	25
Obr. 12 Vnitřní zapojení řídicího obvodu L6506 [6].....	26
Obr. 13 SMD pouzdro ATmega 16.....	28
Obr. 14 Blokové schéma modulu pro řízení stejnosměrného motoru.....	29
Obr. 15 Blokové schéma zapojení mikrořadiče.	30
Obr. 16 Schéma zapojení mikrořadiče	32
Obr. 17 Schéma regulátoru proudu	33
Obr. 18 Regulační smyčka rychlosti	34
Obr. 19 Regulační smyčka polohy	34
Obr. 20 Převod napětí 24V z PLC na 5V pro mikrořadič	35
Obr. 21 Převod napětí z rozsahu 0 - 10 V na rozsah 0 - 2,56 V	36
Obr. 22 Převod proudu z rozsahu 0 - 20 mA na napětí v rozsahu 0 - 1,28 V.....	36
Obr. 23 Úprava signálu z IRC snímače	37
Obr. 24 Vývojový diagram programu v mikrořadiči	40
Obr. 25 Modul pro řízení stejnosměrného motoru.....	42
Obr. 26 Připojení osciloskopu při měření u obvodu L6203	43
Obr. 27 Dotykový displej GOT 1155 - QSBD [10].....	46
Obr. 28 Počáteční nastavení při spuštění nového projektu.....	47
Obr. 29 Vývojové prostředí GT Designer 2	48
Obr. 30 Volba zadávání hodnot z programovatelného automatu	49
Obr. 31 Výběr polohové nebo rychlostní regulace motoru	49
Obr. 32 Výběr polohové nebo rychlostní regulace motoru	50
Obr. 33 Obraz Podrobného výpisu pro regulaci polohy.....	51
Obr. 34 Obraz Nastavení pro regulaci polohy	51
Obr. 35 Obraz Celkového souhrnu přístupný z obrazu pro regulaci polohy	51
Obr. 35 Zapojení PLC Simatic S7 - 224 XP [5]	54
Obr. 36 Vývojový diagram programu v PLC	55
Obr. 37 Hranice stability regulátoru rychlosti	65
Obr. 38 Optimální nastavení regulátoru rychlosti.....	65
Obr. 39 Průběh skutečných otáček při špatném nastavení regulátoru rychlosti	66
Obr. 40 Průběh skutečných otáček při špatném nastavení regulátoru rychlosti	66
Obr. 41 Optimální nastavení regulátoru rychlosti s jiným mom. setrvačnosti	67
Obr. 42 Hranice stability regulátoru polohy	68
Obr. 43 Optimální nastavení regulátoru polohy	68
Obr. 44 Průběh skutečných otáček při špatném nastavení regulátoru polohy	69
Obr. 45 Průběh skutečných otáček při špatném nastavení regulátoru polohy	69
Obr. 46 Optimální nastavení regulátoru polohy s jiným mom. setrvačnosti	70

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

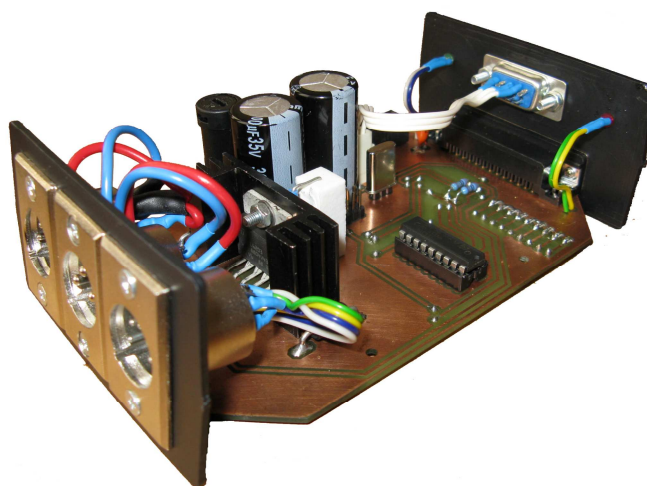
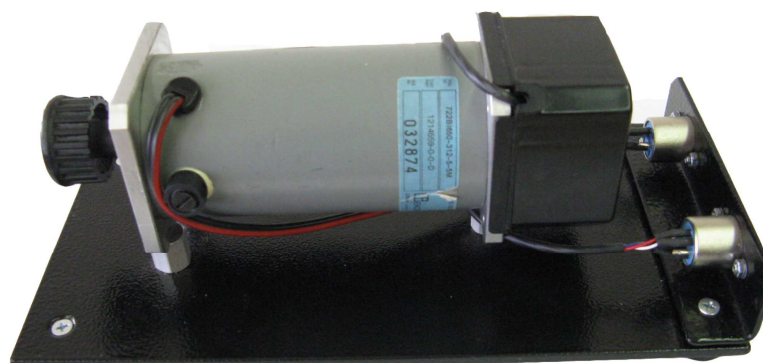
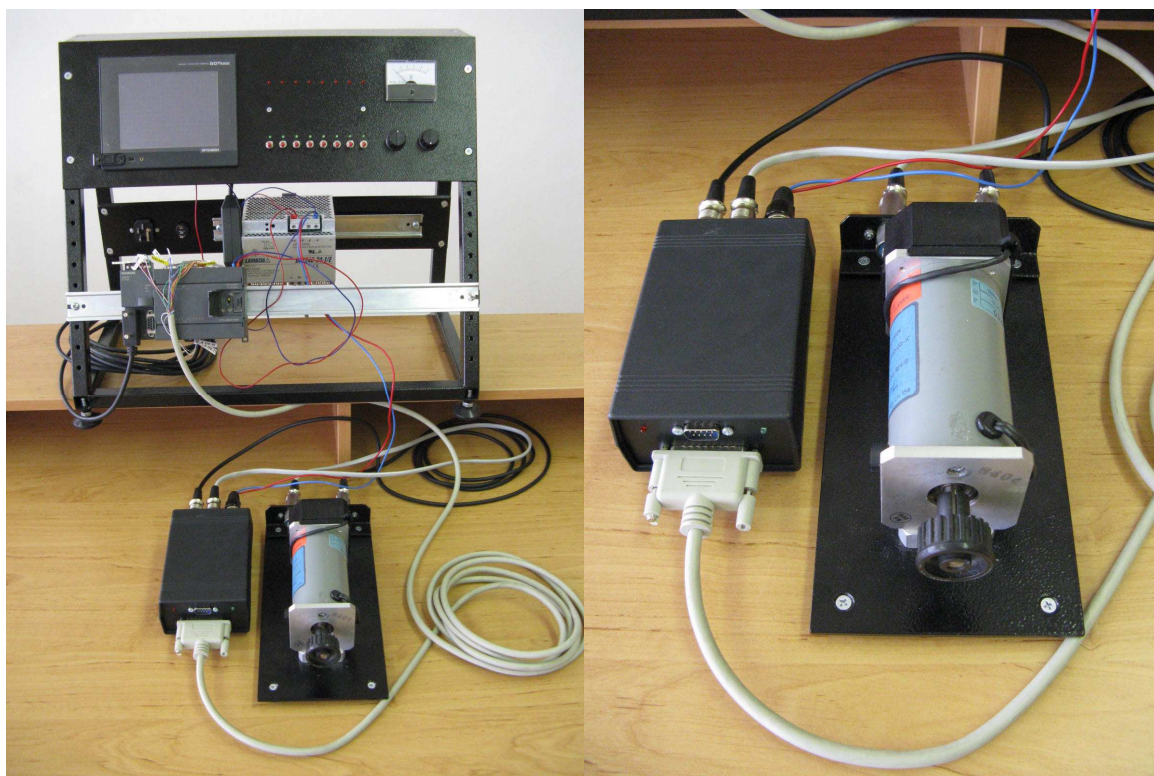
- [1] Jalovecký, R. Kyncl, L. : *Ovladač stejnosměrného motoru využívající PWM*, [online] únor 2004, [cit. 14.03.2009]. Dostupný z : <http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART406-Ovladac-stejnosmerneho-motoru-vyuzivajici-PWM.html>
- [2] Neborák, I. – Sedláček, V. : *Elektrické pohony* [pdf dokument], Katedra obecné elektrotechniky FEI VŠB-TU Ostrava, 2004 [cit. 20.2.2009]. Dostupný z: fei1.vsb.cz/kat448/old/Studium/Materialy/EP/ELEKTRICKE%20POHONY%201.pdf
- [3] Kocman, S. : *Stejnoseměrné stroje* [pdf dokument], Katedra obecné elektrotechniky FEI VŠB-TU Ostrava, 2002 [cit. 24.2.2009]. Dostupný z: <http://fei1.vsb.cz/kat452/Vsb.cz/elektrotechnika/sylaby/stejnosmerne%20stroje.pdf>
- [4] Skopal, P. *Řízení tříosého podvozku robota*. Diplomová práce. Brno. FSI VUT Brno, Ústav automatizace a informatiky, 2000. Vedoucí diplomové práce Doc. Zdeněk Němec, Csc.
- [5] SGS-THOMSON MICROELECTRONIC, datasheet L6203. rev. 2009 [pdf dokument]. [cit. 19.1.2009] http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/6/2/0/L6203.shtml.
- [6] SGS-THOMSON MICROELECTRONIC, datasheet L6506. rev. 2009 [pdf dokument]. [cit. 20.1.2009] http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/6/5/0/L6506.shtml.
- [7] Janík, P. *Eagle – Návod* [online]. 9.4.2006, [cit. 10.02.2008]. Dostupné z: http://paja-trb.unas.cz/elektronika/eagle/eagle_navod.html.
- [8] SIEMENS s.r.o. *SIMATIC S7* [online]. 2009 [cit. 14.1.2009]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=86f90bf9ae0&ctxp=home>.
- [9] ATMEL, *datasheet ATmega 16*. rev. 2009 [pdf dokument]. [cit. 19.1.2009] http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/A/T/M/E/ATMEGA16.shtml.
- [10] MITSUBISHI ELECTRIC, *HMI GOT1155* [online]. 06.02.2009 [cit. 14.3.2009]. Dostupné z: <http://www.mitsubishi-automation-cz.com/>.
- [11] Stříbský, A. : *Instrumentace procesů - elektromotory* [pdf dokument], Katedra řídicí techniky ČVUT FEL Praha, 2002 [cit. 24.1.2009]. Dostupný z: http://dce.felk.cvut.cz/ip/prednasky/IP_elektropohony.pdf
- [12] Stříbský, A. : *Instrumentace procesů – inkrementální snímače* [pdf dokument], Katedra řídicí techniky ČVUT FEL Praha, 2002 [cit. 19.1.2009]. Dostupný z: http://dce.felk.cvut.cz/zri/podklady/Inkrement_snimac.pdf

- [13] Ďaďo, S.. : *Senzory 2 – inkrementální senzor úhlové polohy* [pdf dokument], Katedra řídicí techniky ČVUT FEL Praha, 2004 [cit. 24.1.2009]. Dostupný z: <<http://measure.feld.cvut.cz/groups/edu/sz2/pdf/IRC.pdf>>
- [14] Florian,R. *Model nelineární soustavy*. Diplomová práce. Brno.FSI VUT Brno, Ústav automatizace a informatiky, 2008. Vedoucí diplomové práce Doc. Pavel Ošmera, Csc.
- [15] Uzimex Praha: *Motory a řízení pohonů Maxon*, [online], březen 2006, [cit. 25.01.2009]. Dostupný z <<http://www.uzimex.cz>>
- [16] Hlouš, J. *Řídicí jednotka pro malé DC motory s univerzálním softwarovým rozhraním*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Houška, Ph.D.
- [17] Jančík, S. *Simulační modely EDUMOD pro PLC v NI Labview*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Marad, Ph.D.
- [18] Skalický, J. *Elektrické servopohony - skriptum*, Brno: Vysoké učení technické v Brně,Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2005, 123 s.
- [19] Hyniová,K. *Řídicí technika - skriptum*, Praha: České vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky, 2006
- [20] Švarc, I; Šeda, M; Vlečková, M: *Automatické řízení*. 1.vydání. Akademické nakladatelství CERM, 2008. 324s. ISBN 987-80-214-3491-2
- [21] Fejfar, O. *Návrh číslicového řízení stejnosměrného momentového motoru*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2007. Vedoucí diplomové práce Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D.

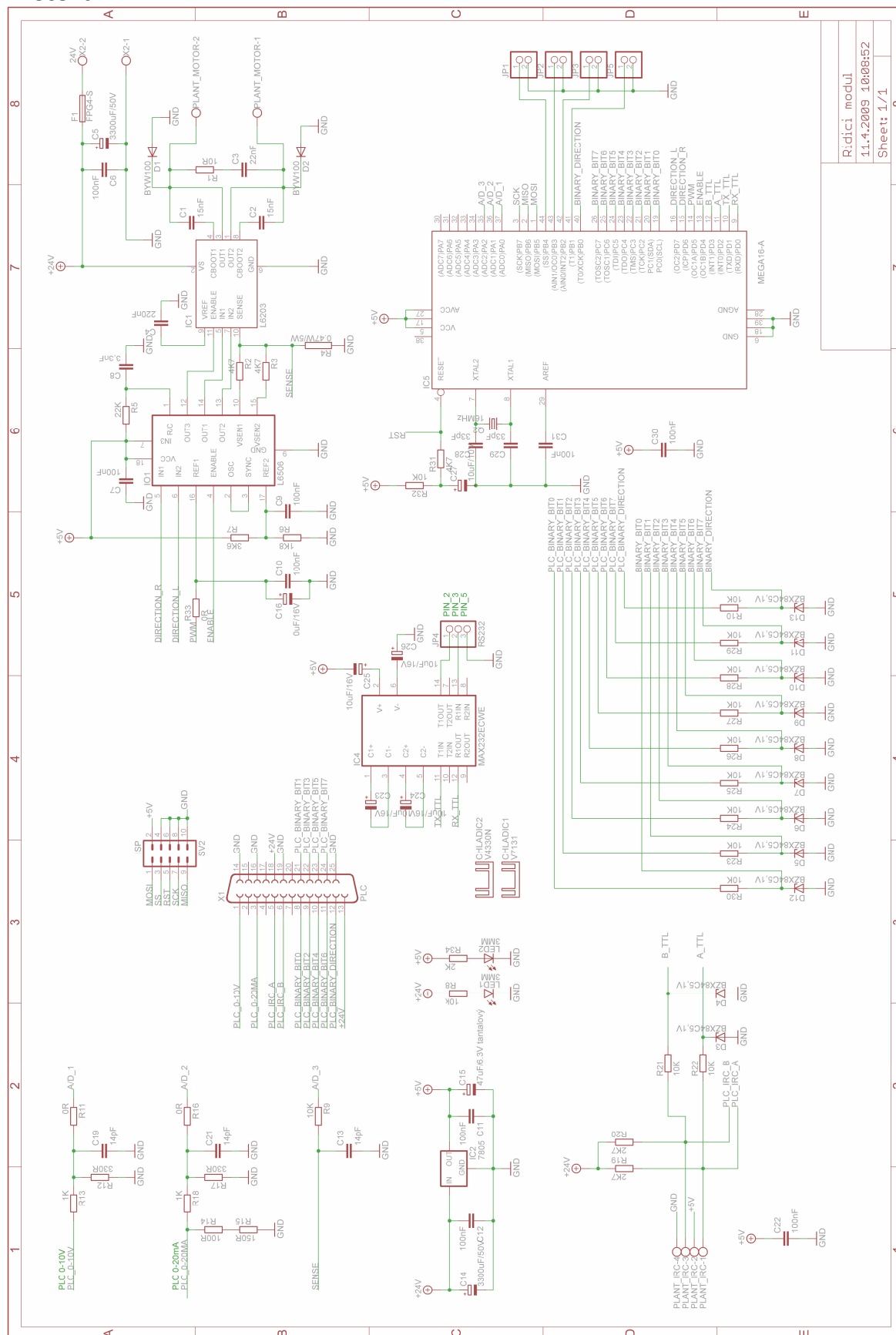
SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1 - Fotodokumentace laboratorní úlohy
- Příloha č. 2 - Schéma zapojení modulu pro řízení stejnosměrného motoru
- Příloha č. 3 - Návrh plošného spoje modulu pro řízení stejnosměrného motoru
- Příloha č. 4 - Seznam součástek
- Příloha č. 5 - Schéma obrazů dotykového displeje
- Příloha č. 6 - CD, které obsahuje:
 - Nekula Pavel_Řízení stejnosměrného motoru pomocí PLC SIMATIC S7-200.pdf (elektronická verze diplomové práce)
 - Přílohy
 - o Program pro mikrořadič Atmega 16
 - o Program pro PLC S7-224XP
 - o Vizualizace laboratorní úlohy v programu GT Designer 2

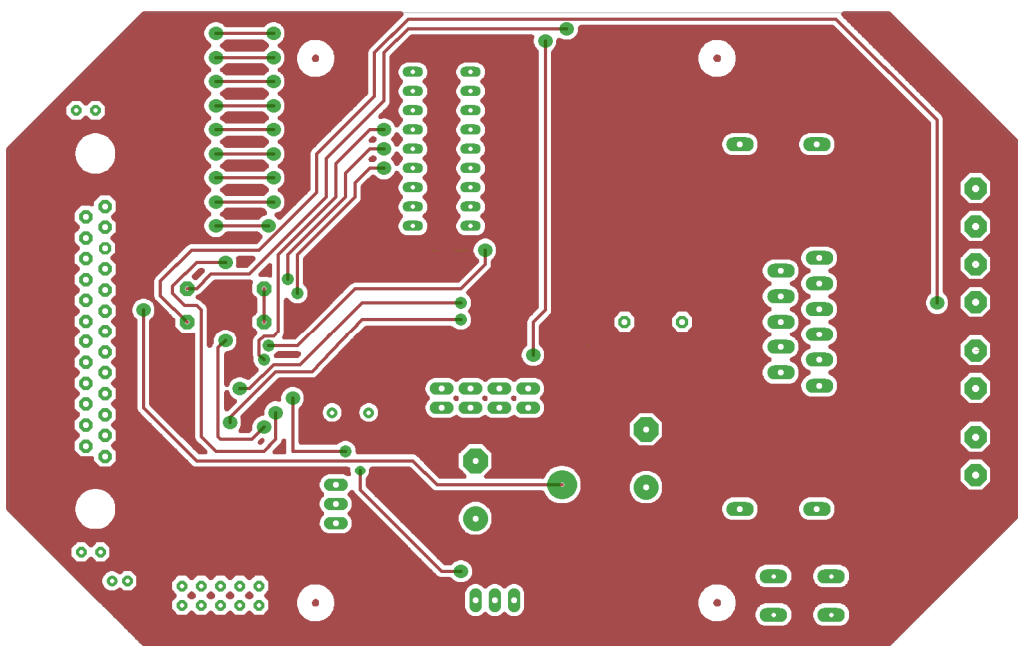
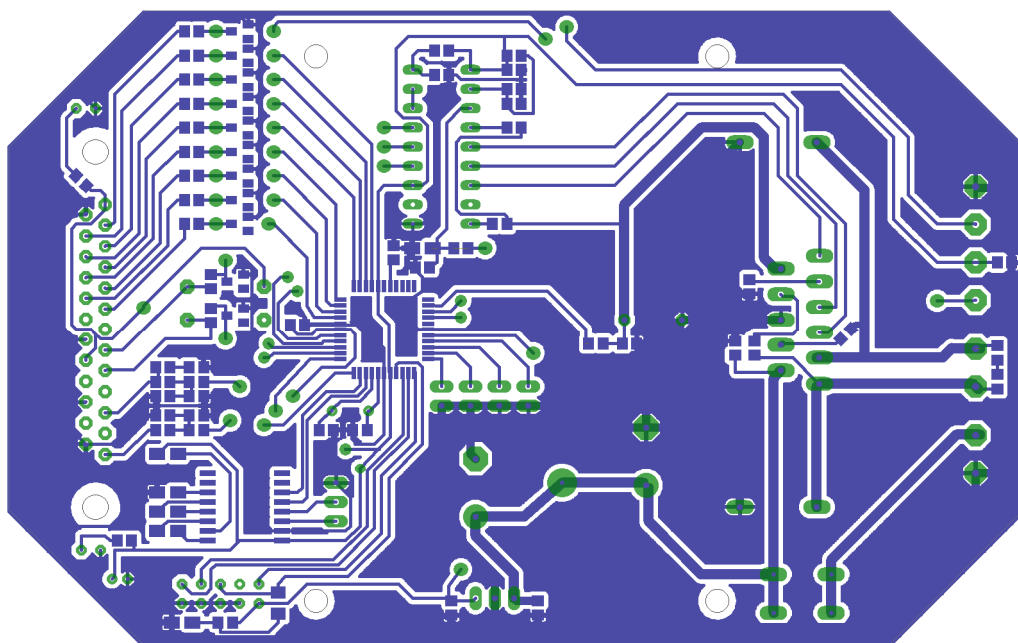
Příloha č. 1 – Fotodokumentace laboratorní úlohy



Příloha č. 2 – Schéma zapojení modulu pro řízení stejnosměrného motoru



Příloha č. 3 – Deska plošného spoje modulu pro řízení stejnosměrného motoru



Příloha č. 4 – Seznam použitých součástek

kusů	číslo	Název	cena / kus	cena s DPH
1	901-388	Rezistor 10R SMD 0805 1%	2,00 Kč	2,00 Kč
2	901-188	Rezistor 4K7 SMD 0805 1%	2,00 Kč	4,00 Kč
1	901-202	Rezistor 22K SMD 0805 1%	2,00 Kč	2,00 Kč
1	901-377	Rezistor 1K8 SMD 0805 1%	2,00 Kč	2,00 Kč
1	901-583	Rezistor 3K6 SMD 0805 1%	2,00 Kč	2,00 Kč
14	901-176	Rezistor 10K SMD 0805 1%	2,00 Kč	28,00 Kč
2	901-209	Rezistor 330R SMD 0805 1%	2,00 Kč	4,00 Kč
2	901-178	Rezistor 1K SMD 0805 1%	2,00 Kč	4,00 Kč
1	901-212	Rezistor 100R SMD 0805 1%	2,00 Kč	2,00 Kč
1	901-189	Rezistor 150R SMD 0805 1%	2,00 Kč	2,00 Kč
3	901-170	Rezistor 0R SMD 0805	2,00 Kč	6,00 Kč
1	901-066	Rezistor 2K SMD 0805 1%	2,00 Kč	2,00 Kč
1	900-248	Rezistor 4K7 SMD 1206 1%	2,00 Kč	2,00 Kč
2	110-085	Rezistor 2K7 metalizovaný 0207 1%	1,00 Kč	2,00 Kč
1	114-013	Rezistor výkonový 0.47R / 5W	5,00 Kč	5,00 Kč
2	906-090	Kondenzátor keramický 15nF SMD 0805	2,50 Kč	5,00 Kč
1	906-091	Kondenzátor keramický 22nF SMD 0805	2,50 Kč	2,50 Kč
1	906-016	Kondenzátor keramický 220nF SMD 0805	2,50 Kč	2,50 Kč
9	906-110	Kondenzátor keramický 100nF SMD 0805	2,50 Kč	22,50 Kč
1	906-096	Kondenzátor keramický 3,3nF SMD 0805	2,50 Kč	2,50 Kč
3	906-078	Kondenzátor keramický 14pF SMD 0805	2,50 Kč	7,50 Kč
2	906-080	Kondenzátor keramický 33pF SMD 0805	2,50 Kč	5,00 Kč
5	907-112	Kondenzátor tantalový 10uF / 16V SMD velikost A	3,00 Kč	15,00 Kč
1	122-041	Kondenzátor tantalový 47uF / 6.3V	6,00 Kč	6,00 Kč
2	923-242	Kondenzátor elektrolytický radiální 3300uF/35V	26,00 Kč	52,00 Kč
11	919-018	Zenerova dioda BZX84C5.1V / 0.35W SMD SOT23	1,50 Kč	16,50 Kč
2	GES	Dioda BYW98-200	7,50 Kč	15,00 Kč
1	511-201	LED3mm 3MA/R	1,40 Kč	1,40 Kč
1	511-200	LED3mm 3MA/G	1,40 Kč	1,40 Kč
1	131-019	Krystal 16MHz HC-48U	9,90 Kč	9,90 Kč
1	330-149	Stabilizátor 7805-STM	7,50 Kč	7,50 Kč
1	959-027	MAX232CWE SMD SO16 - originál MAXIM	23,00 Kč	23,00 Kč
1	958-112	ATmega16-16AU TQFP44	65,00 Kč	65,00 Kč
1	399-015	L6506	91,50 Kč	91,50 Kč
1	380-015	L6203	182,00 Kč	182,00 Kč
1	823-003	Patice DIL18 obyčejná	1,90 Kč	1,90 Kč
1	832-023	Lámací lišta dvouřadá S2G20 - 20 pinů	4,00 Kč	4,00 Kč
1	832-017	Lámací lišta jednořadá S1G20 - 20 pinů	4,00 Kč	4,00 Kč
1	800-035	Konektor MLW10G - vidlice 2x5 pinů přímá	5,00 Kč	5,00 Kč
1	801-141	Canon 9 vidlice kontakty zlacené - CAN 9 V G	6,00 Kč	6,00 Kč
1	801-017	Canon 25 vid. 90S - CAN 25 V 90	12,00 Kč	12,00 Kč
1	829-059	Pojistkové pouzdro FPG4-S	25,00 Kč	25,00 Kč
1	633-050	T-pojistka 5x20mm 4A	3,00 Kč	3,00 Kč
1	620-008	Chladič V4330N 29X20X11,5 TO220 15K/W	28,50 Kč	28,50 Kč
1	620-027	Chladič V7131 25x43x13 černý	9,50 Kč	9,50 Kč
1	622-829	Krabička U-KP43B	55,00 Kč	55,00 Kč
1	GES	Konektor XLR 4ES	19,00 Kč	19,00 Kč
1	GES	Konektor XLR 4KU	40,00 Kč	40,00 Kč
1	TIPA	Konektor mic V 3PIN panel KOV	19,00 Kč	19,00 Kč
1	TIPA	Konektor mic Z 3PIN panel KOV	20,00 Kč	20,00 Kč
1	TIPA	Konektor mic V 5PIN panel KOV	25,00 Kč	25,00 Kč
1	TIPA	Konektor mic Z 5PIN panel KOV	26,00 Kč	26,00 Kč
1	661-097	Ovrstvená dvouvrstvá deska TA 201 100x160mm	76,00 Kč	76,00 Kč
				981,60 Kč

Příloha č. 5 – Schéma obrazů dotykového displeje

