



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TELIES, MECHATRONIKY
A BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND
BIOMECHANICS

Elektricky nastavovaný pojišťovací ventil pro HFA kapaliny
ELECTRICALLY ADJUSTED SAFETY VALVE FOR HFA LIQUIDS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL ŠURANSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ROBERT GREPL, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Šuranský

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Mechatronika (3906R001)**

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 bakalářské práce:

Elektricky nastavovaný pojišťovací ventil pro HFA kapaliny

v anglickém jazyce:

Electrically adjusted safety valve for HFA liquids

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je navrhnout ovládací člen manuálně nastavovaného pojišťovacího ventilu. Požadavek na nastavení ventilu bude zadáván ve formě analogového signálu $4 \div 20$ mA a ventil bude nastavován v rozsahu $0 \div 35$ MPa. Je nutno zajistit lineární závislost výstupu na vstupní veličině.

Předmětem této práce je navrhnout možné koncepce řešení pohonu a provést jejich zhodnocení. Na základě této analýzy bude dále rozpracovaná vybraná koncepce. Jedná se o návrh kompaktního mechanického uspořádání ventilu a pohonu včetně řídicí elektroniky. Je vhodné využít simulačního software pro verifikaci navrhovaného řešení. Výstupem tohoto projektu bude dokumentace prototypu (výkresy, kusovníky, schémata).

Následně bude sestaven prototyp. Dále bude nutno navrhnout způsob testování ventilu. K tomu je třeba analyzovat tuto problematiku a provést porovnání navrhovaných řešení s ohledem na dostupné prostředky pro realizaci. Dalším krokem je příprava testeru ventilu a měření charakteristik dle analýzy problematiky. Na závěr bude provedeno komplexní zhodnocení řešení a výsledků testů, návrhy možností optimalizace.

Tato práce je zadána a bude řešena ve spolupráci se společností ŽĎAS, a.s., Žďár nad Sázavou, Czech Republic.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Studium dodaných materiálů, diskuse se zadavatelem (ŽĎAS) a formulace požadavků na elektrické nastavování ventilu.
- 2) Návrh elektrického pohonu, konstrukční zpracování a zajištění výroby funkčního vzorku.
- 3) Návrh a výroba řídicí elektroniky.
- 4) Kompletace prototypu, podrobné testování na základě požadavků zadavatele.

Seznam odborné literatury:

- produktové listy k ventilům fy Bosch Rexroth
- Valášek, M.: Mechatronika, Vydavatelství ČVUT 1995
- Noskovič: Modelování a identifikace systémů

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Robert Grepl, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Úlohou bakalárskej práce je návrh a realizácia automatizačného mechanizmu pre poistný ventil na HFA kvapaliny a jeho nastavenie a testovanie na základe požiadaviek dodávateľa, firmy ŽĎAS, a.s., sídliacej v Žďari nad Sázavou. Súčasťou návrhu je mechanická, elektronická a softwarová zložka mechanizmu. Výsledkom bakalárskej práce je funkčný prototyp ovládateľný cez Real Time Toolbox v prostredí Simulink, schopný polohovať ventil na žiadanú pozíciu.

Abstract

The purpose of bachelor's thesis is proposal and implementation of automation mechanism of electrically adjusted safety valve for HFA liquids and its tuning and testing based on provider's requirements. Automation mechanism proposal includes suggestion of mechanical, electronical and software components of the device. As a result of thesis is via Simulink's Real Time Toolbox operational prototype with adjustable position. The provider of the valve is firm ŽĎAS a.s., from Žďár nad Sázavou.

Bibliografická citácia práce

ŠURANSKÝ, M. *Elektricky nastavovaný pojišťovací ventil pro HFA kapaliny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 52 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Robert Grepl, Ph.D.

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som celú bakalársku prácu vrátane príloh vypracoval samostatne a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

Michal Šuranský

V Brne dňa 12. 5. 2011

Pod'akovanie

Rád by som poďakoval vedúcemu bakalárskej práce Ing. Robertovi Greplovi, Ph.D., za pomoc pri konštrukcii prototypu, za cenné rady a pripomienky pri vypracovávaní bakalárskej práce a za umožnenie prístupu do laboratória.

Za cenné rady by som tiež rád poďakoval Ing. Josefovi Vejlupkovi a celému kolektívu v laboratóriu.

Ďalej by som rád poďakoval rodine za psychickú podporu.

Obsah

1. Úvod	14
2. Rozbor zadania a formulácia cieľov	16
3. Rešerše	17
3.1. Priemyselné ventily	17
3.2. Možnosti automatizácie priemyselných ventilov	18
3.3. RT simulácie	20
3.4. Popis použitých komponentov	22
3.5. PLC Simatic	22
4. Výroba funkčného vzorku	23
4.1. Popis vybraných a vyrobených súčastí	23
4.2. Snímanie polohy	24
4.3. Uchytenie hlavice ventilu	25
4.4. Výroba mechanickej časti	26
4.5. Výroba kabeláže	27
4.6. Prepojenie elektrických a mechanických komponentov	29
5. Návrh a testovanie PID regulátoru	30
5.1. Tvorba programu v Simulinku	30
5.2. Ladenie PID regulátoru	32
5.3. Odozva na jednotkové skoky	37
5.4. Odozva prototypu na zmenu žiadanej polohy	40
5.5. Meranie Bodeho charakteristiky	42
6. Záver	44
7. Zoznam obrázkov a tabuliek	46
8. Zoznam použitých skratiek	47
9. Referencie	48
10. Prílohy	49

1. Úvod

Vývoj senzorovej, zosilňovacej, obrazovej techniky ako aj vývoj aktuátorov, kontrolných elementov a ventilov spôsobuje nárast požiadaviek na mechanizáciu a automatizáciu priemyselných zariadení, teda na tvorbu mechatronických sústav. Vo všeobecnosti automatizácia vyžaduje prepracovanosť z viacerých pohľadov funkčnosti, teda pri tvorbe konkrétneho systému je nutné sledovať údržbovú spoľahlivosť, bezpečnosť mechatronickej sústavy ako aj bezpečnosť personálu, ktorý príde so sústavou do styku. Vývoj konkrétnej aplikácie je ďalej na rozdiel od zdravotnej alebo vojenskej techniky prísne ohraničený rozpočtom. Jednoducho povedané je potrebné s čo najmenšími nákladmi vytvoriť systém, ktorý bude spoľahlivo vykonávať žiadanú úlohu.

Automatizovaný mechatronický systém je presnejší, rýchlejší, spoľahlivejší a menej náchylný na chyby. Navyše, čo sa týka ovládania polohy vonkajších ventilov pomocou hlavice, je možné vhodnou úpravou mechanických úchyto, vytvorením elektroniky so širokým rozhraním a pomocou motora s dostatočne veľkým krútiacim momentom vytvoriť adaptabilný systém. Takýto systém by pre svoje malé rozmery a nízku cenu mohol byť zaujímavý pre mnohé aj menšie spoločnosti, ktoré používajú pri svojej činnosti riadiaci softvér.

Je potrebné spomenúť, že automatizácia je často predmetom kritiky preto, že likviduje pracovné miesta pre ľudí. Aplikácie na ktoré sa zameriava moja bakalárska práca však iba uľahčia prácu ľuďom, ktorí ju budú musieť naďalej vykonávať.

Myslím si, že rozvoj automatizačnej techniky a teda energia a čas investovaný do vzdelania v tejto oblasti je správnu investíciou, pretože prináša skvalitnenie pracovných podmienok ľudí zamestnaných v priemysle ako aj príležitosti pre osobnostný a intelektuálny rozvoj vývojárov. Ďalej by som ešte rád upozornil na profit, ktorý by bolo možné získať vytvorením univerzálneho modelu pre nastavovanie polohy ventilov.

Prínosom mojej práce by teda mal byť návrh mechatronického modelu, ktorý by sa drobnými úpravami dal prerobiť na univerzálny.

2. Rozbor zadania a formulácia cieľov

Zo zadania bakalárskej práce a z komunikácie s pánom Tlustošom z firmy zadávateľa vyplývajú tieto ciele:

1) **Studium dodaných materiálu, diskuse se zadavatelem (ŽDAS) a formulace požadavku na elektrické nastavování ventilu.** Naštudujem materiáli od firmy zadávateľa, teda datasheet k použitému ventilu, prezentácie zadania práce. So zadávateľom preberieme požiadavky na reguláciu tlaku, teda bežné pracovné tlaky a povolené odchýlky. Preferovanú možnosť prepojenia mechatronickej sústavy s riadiacim signálom.

2) **Návrh elektrického pohonu, konstrukční zpracování a zajištění výroby funkčního vzorku.** Po konzultácii s vedúcim BP vyberiem vhodný motor a navrhmem testovací model sústavy. Na základe návrhu zabezpečím jeho výrobu. Na prezentáciu navrhmem reprezentačný model.

3) **Návrh a výroba řídicí elektroniky.** DC motor prepojím s H-mostíkom LM18201T dostupným v laboratóriu. Navrhmem a nechám vyrobiť riadiacu elektroniku, pomocou ktorej skompletujem prototyp.

4) **Kompletace prototypu, podrobné testování na základe požadavku zadavatele.** Za prototyp budem považovať model ovládaný riadacim signálom. Pre neskoré dodanie ventilu, ktorý zadávateľ dodal namiesto 2.1.2011 až 11.03.2011 prevediem podrobné testy na presnosť regulácie metódou Rapid control prototyping, kde budem požadovanú polohu zadávať pomocou softvéru simulink. Na záver naladím prototyp tak, aby dosahoval žiadanú polohu v rámci dovolenej odchylky.

3. Rešerše

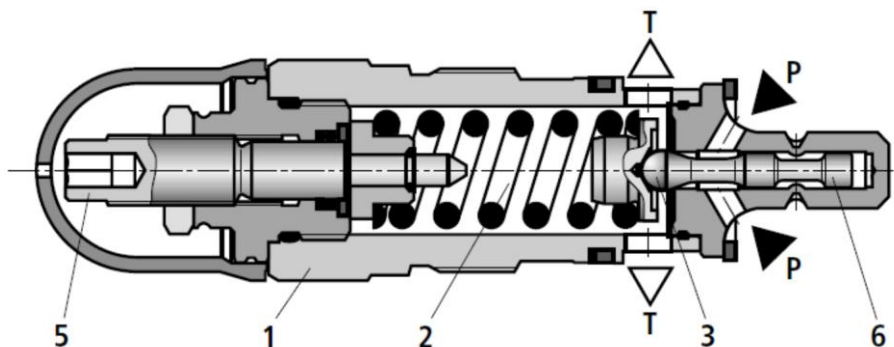
3.1. Priemyselné ventily

Nastavovaný poistný ventil je súčiastka, ktorá sa v prípade prekročenia maximálneho nastaveného tlaku otvorí a tým zníži tlak v systéme. Nachádza využitie v mnohých aplikáciách ako napríklad v inštaláciách pri rozvodoch kúriacej vody, tlakovej kanalizácie, na ochranu pľúcnej automatiky pri vzduchových dýchacích prístrojoch, prípadne v bojleroch a čistiacich strojoch. V priemyselných strojoch sa používa napríklad na reguláciu pracovného tlaku systému v lisoch, tvárniacich strojoch a kompresoroch.

Dnes je trendom automatizovať nastavovanie ventilov z dôvodu znižovania nákladov na výrobu, zrýchlenia výrobného procesu a zvýšenia bezpečnosti práce.

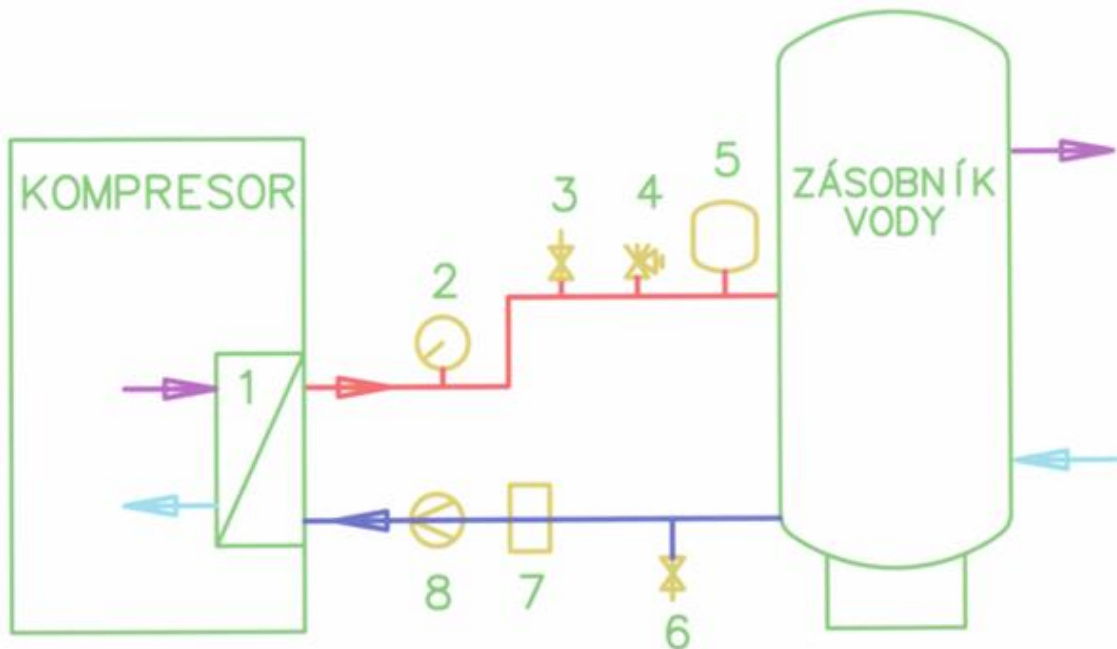
Ručne regulovateľný poistný ventil sa nastavuje pomocou regulačnej hlavice (5). Hlavicom sa nastaví tlak na pružinu (2) umiestnenú v tele ventilu (1). Tá vyvinie tlak na regulačný piest (3). Pracovná kvapalina prúdi kanálom P a pôsobí na piest tlakovou silou v opačnom smere ako pružina. V prípade, že pracovný tlak kvapaliny vystúpi nad maximálnu dovolenú hodnotu nastavenú pružinou, piest sa posunie tak, že kvapalina môže prúdiť z kanálu P do kanálu T, čím dochádza k zníženiu tlaku v systéme. Pohyb piestu je obmedzený závitovým kolíkom (6). [7]

Aby bolo možné nastavovať požadovaný tlak čo najpresnejšie, rozlišujú sa pružiny podľa tzv. tlakového stupňa. Celý tlakový rozsah je rozdelený do siedmych tlakových stupňov, ktoré určujú maximálny tlak na ktorý môže byť pružina nastavená. [7]



Obr. 1: Ručne nastavovaný poistný ventil [7]

Poistný ventil sa používa napríklad pri rekuperácii, teda v tepelnom okruhu využitia odpadového tepla vzduchom chladeného rotačného kompresora. Až 94% energie z vytvoreného tepla môže byť obnovených k tomu, aby vykonávalo inú prácu, ako napríklad výroba teplej vody. Tepelný okruh znázorňuje obrázok 2. Pod obrázkom sú popísané prvky tepelnej schémy.[4]

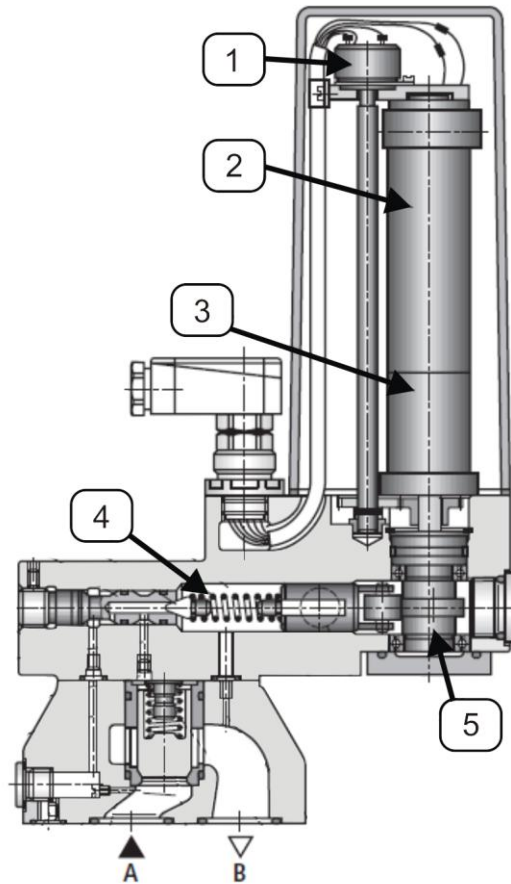


Obr. 2: Rekuperácia [4]

1. Výmeník Tepla
2. Manometer
3. Odvzdušňovací Ventil
4. Poistný Ventil
5. Expanzná Nádoba
6. Napúšťací Ventil
7. Filter
8. Čerpadlo

3.2. Možnosti automatizácie priemyselných ventilov

Automatizácia poistných ventilov sa najčastejšie prevádza pomocou DC motorov, pretože tie sú jednoducho ovládateľné a regulovateľné. Jedno z možných riešení vyrobili vo firme Rexroth, kde pripevnili k hriadeľu DC motora (2) vačku (5), ktorou je nastaviteľný tlak v pružine (4), teda pracovný tlak stroja. Poloha vačky sa určí pomocou napät'ovej spätnej väzby z potenciometra (1). Nevýhodou tohto riešenia je jeho malý rozsah, keďže je schopné regulovať iba v rámci jednej otáčky motora. Naopak výhodou je jeho kompaktnosť a rýchlosť. Čas na prispôsobenie tlaku z minimálnej do maximálnej hodnoty je 0.65 sekundy. Pomocou tlakových spínačov je možné limitovať maximálny a minimálny tlak. [1]



Obr.3: Automatizovaný ventil Rexroth [1]

Na ovládanie DC motorov sa bežne používajú priemyselné moduly. Príklad takého modulu je Maxon motor control PCU2000 od spoločnosti Maxon. K PCU2000 je možné pripojiť naraz až 6 motorov. 8 digitálnych vstupov a 8 digitálnych výstupov slúži na prepojenie jednotky s PC cez RS232. V PC je možné pomocou príkazov v software, ktorý je súčasťou dodávky zaslať do modulu požadovanú rýchlosť, zrýchlenie a polohu zastavenia motora. Nevýhodou tohto riešenia je jeho cena. Modul PCU2000 je PLC samo osebe. Výhodou tohto riešenia je jeho presnosť, na zistenie polohy používa enkóder. Ďalšou výhodou je vysoká integrovateľnosť.

3.3. RT simulácie

Real time-ová simuláciu je možné charakterizovať ako počítačový model procesu, pričom každý modelový proces sa vykoná v podobnom čase ako reálny proces. Pomocou real time-ových prostriedkov je možné pre testovanú reálnu súčasť, prípadne software simulovať rôzne stavy a následne čítať odozvy súčasti (softwaru), teda poznávať jej vlastnosti.

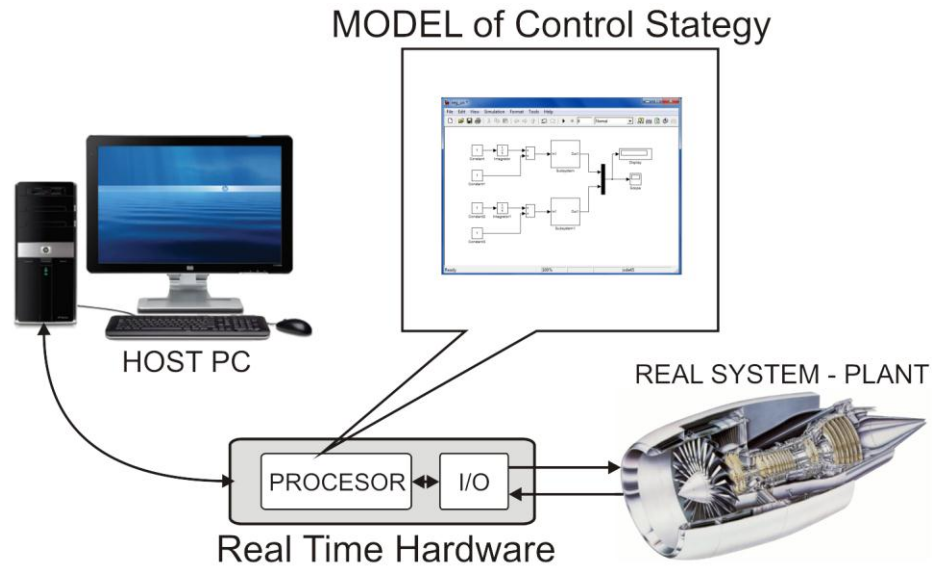
Počítačové modely a simulácia sú pre značne nižšie náklady často využívané pri navrhovaní mechatronických výrobkov. Je snaha voliť postup pri návrhu výrobku tak, aby sa maximum jeho konštrukčných, testovacích a implementačných činností prevádzalo na počítači.

Existujú viaceré typy real-timových simulácií, ktorých základný rozdiel je v charaktere skúšanej sústavy. Jedným z typov je HIL tzv. Hardware in the loop, kde skúšanou sústavou je elektronická jednotka. Ďalším RCP, teda rapid control prototyping, kde skúšanou sústavou je mechanická súčasť. Ďalej sa využíva typ SIL a PIL.

Rapid control prototyping sa ako vývojárska metóda začal používať v automobilovom priemysle okolo roku 1990. Od vtedy sa využila pri vývoji aplikácií ako ABS, alebo proti prešmykový systém, stabilita vozidla, active cruise control (systém ktorý kontroluje rýchlosť vozidla), rozvod krútiaceho momentu a ďalšie.

Metóda RCP sa výrazne využíva aj v iných priemyselných odvetviach, ako napríklad Aero priemysel (FADEC) alebo vo vývoji medicínskych zariadení a v automatizácii. Nízko nákladové RCP systémy sa často využívajú ako výukové modely na kvalitných svetových univerzitách. [2] [3]

Základnú štruktúru RCP systému popisuje obrázok 2. Pri jeho tvorbe som sa inšpiroval z [3]. V počítači je karta s vlastným procesorom predstavujúca RT hardvér. Karta slúži ako na prijímanie dát meraných na reálnej sústave tak aj na ich spracovanie. V počítači je vytvorený riadiaci software. Karta je cez I/O rozhranie pri-pojená na Reálny systém (Plant). [3]



Obr. 4: štruktúra RCP modelu

Jednou z najväčších výhod RCP procesu, je že riadiace algoritmy sa vyvíjajú ako symbolické modely a nie ako C kód. Nevýhodou je cena. Kompletný RCP systém vrátane modelovacieho softwaru, užívateľského rozhrania (GUI) a cieľového hardwaru stojí okolo 30 000€ - 40 000€. [3]

Menej nákladné RCP simulácie je možné robiť pomocou hardwarových komponentov, ako je napríklad karta MF 624. Vstupy a výstupy reálnej sústavy (PLANT) sa pripoja priamo do karty. Simulačný model je možné vytvoriť napríkladv Simulinku.[3]

3.4. Popis použitých komponentov

Na prepojenie modelu s kartou MF 624 som použil H-mostík LM18201T. H mostík LM18201T umožňuje poslať do motora riadiaci signál PWM, signál smeru DIR a brzdy BRK. Pomocou LEM senzoru na H-mostíku je možné sledovať prúd tečúci motorom a jeho obmedzením predísť prípadnej havárii.

Konverziu riadiaceho prúdového signálu na napäťový som previedol pomocou napäťového deliča, ktorý prevádza riadiaci signál $4 \text{ mA} \div 20 \text{ mA}$ na $0,648 \text{ V} \div 3,24 \text{ V}$.

3.5. PLC Simatic

Firma Žďaz pri automatizácii ako riadiacu jednotku používa PLC Simatic S7-300. Jedná sa o riadiaci systém navrhnutý na riadenie výrobných technológií. S7-300 obsahuje viacero modulov umožňujúcich optimálnu adaptáciu pre danú automatizačnú úlohu. K PLC je možné pripojiť rôzne moduly digitálnych a analógových vstupov. Napríklad funkčné moduly, ktoré slúžia na pripojenie inkrementálnych enkóderov alebo porovnávacích funkcií alebo modul simulačný, ktorý umožňuje testovanie programu za chodu. Simuluje signály zo sensorov, ktoré môžu byť menené za chodu pomocou skrutkovača. [5]



Obr. 5: PLC Simatic S7-300 [5]



Obr. 6: FM355 modul [5]

Ovládanie regulovanej sústavy sa dá realizovať napríklad pomocou modulu FM355. Funkčný modul FM355 – Controller modul je univerzálny na realizáciu regulačných úloh s uzatvorenou slučkou s maximálnym dovoleným napätím pre prúdový analógový výstup 18V. Podľa toho bolo nutné zvoliť vstupný napäťový delič na DPS. [5]

4. Výroba funkčného vzorku

4.1. Popis vybraných a vyrobených súčastí

Parametre vybraného DC motora

Ako pohon sa použil DC motor PD 52103 od firmy Transmotec s prevodom dopomala v pomere 1/39. Dôležité parametre motora uvádzam nižšie.

menovitý príkon motora	52,8	[w]
napájacie napätie	24	[V]
menovitý moment prevodu	2,88	[Nm]

Hlavná požiadavka na motor bola, aby bol schopný vyvinúť dostatočne veľký krútiaci moment. Maximálny moment potrebný na utiahnutie ventilu bol nameraný na 2,2 Nm.

Pohybové vlastnosti ventilu

Regulačný rozsah ventilu je 8 otáčok kde prvých 5 otáčok je potrebný ťahovací moment 1,5Nm a zvyšné 3 otáčky 2,2 Nm. Na snímanie polohy bude teda možné použiť bežný 10 otáčkový potenciometer.

Ventil pri regulácii vykazuje lineárny posuv hlavice a to o 0,6 cm. Upevnenie ventilu k hriadeľu motora bude teda musieť byť voľné v tomto smere pohybu.

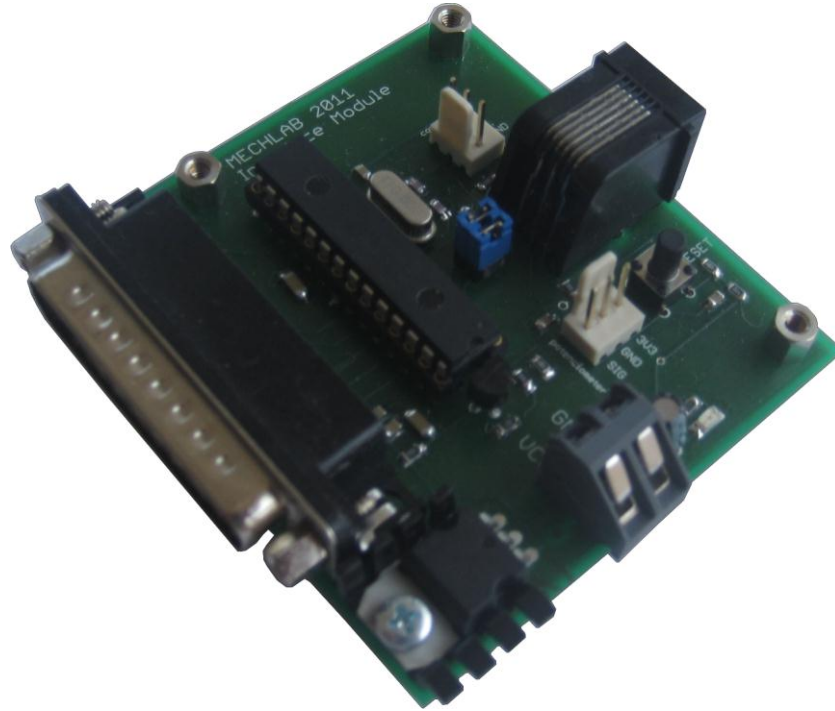


Obr. 7: Ventil s hlaviceu

Návrh Dosky plošných spojov – Interface

Prepojenie riadiacej elektroniky s PLC sa realizovalo pomocou mikrokontroléru dsPIC 33fj128MC802. DPS s rozhraním som navrhol, tak aby k μ Controléru bolo možné pripojiť potrebné periférie. H-mostík sa pripája pomocou konektoru CANNON25. Riadiaci signál a signál z potenciometra pomocou konektorov Molex. μ Controlér je programovateľný cez konektor AMP. Regulácia napätia z 5V na 3,3V je prevedená pre

digitálne vstupy a výstupy pomocou regulátoru napätia 78XX. Pre analógové vstupy a výstupy sa použila paralelná regulácia pomocou diódy TL431CLP. Výkresová dokumentácia a .brd súbor sú na priloženom CD.



Obr. 8: DPS Interface

4.2. Snímanie polohy

Na snímanie polohy prichádzalo do úvahy použiť viacotáčkový potenciometer, prípadne kombináciu jednootáčkového potenciometra bez dorazu s lineárnou odporovou dráhou alebo optický enkóder. Optický enkóder je rýchly a presný. Navyše signál z enkóderu je digitálny. Nevýhodou je vysoká cena, ktorá sa pohybovala niekde v rozmedzí 1300€. Kombinácia jednootáčkového potenciometra s odporovou dráhou by vyžadovala navrhnuť vlastný mechanizmus, čím by sa značne zvýšili náklady. Preto sme nakoniec rozhodli použiť ako snímač polohy viacotáčkový potenciometer.

4.3. Uchytenie hlavice ventilu

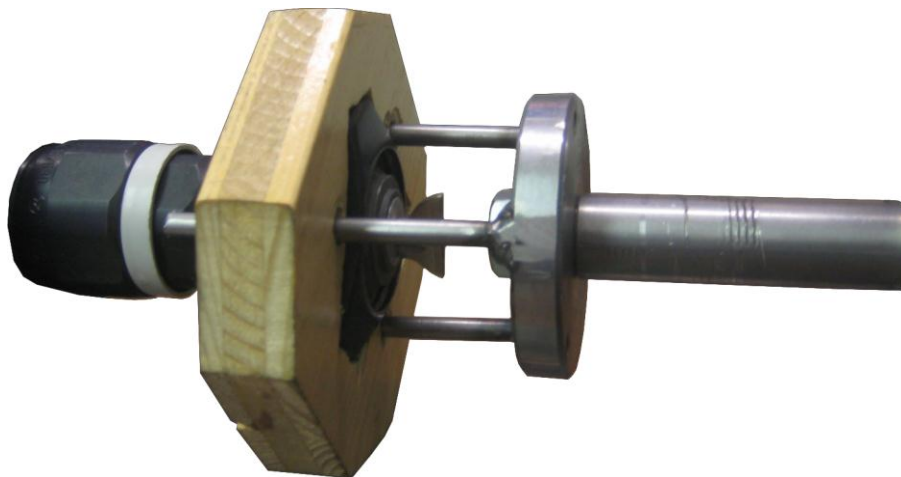
Spôsob uchytenia hlavice ventilu musel rešpektovať jeho lineárny posun, čo sa vyriešilo tak, že koleso na uchytenie hlavice ventilu bolo nastoknuté na tyče v ktorých sa mohlo voľne pohybovať.



Na upevnenie hlavice ventilu v re-
prezentačnom modeli som použil šesť
šróbov po obvode kolesa. Obvodový tvar
hlavice ventilu je trojuholníkový. Vyrábať
trojuholníkový tvar do držiaceho kolesa, by
bolo komplikované a nákladné, zatiaľ čo
vyrobiť kruhový prierez bolo bez-
problémové.

Obr. 9: Koleso na uchytenie hlavice ventilu

V testovacom modeli som koleso na uchytenie hlavice ventilu vyrobil z dreva, teda bolo možné dodržať trojuholníkový tvar hlavice ventilu.

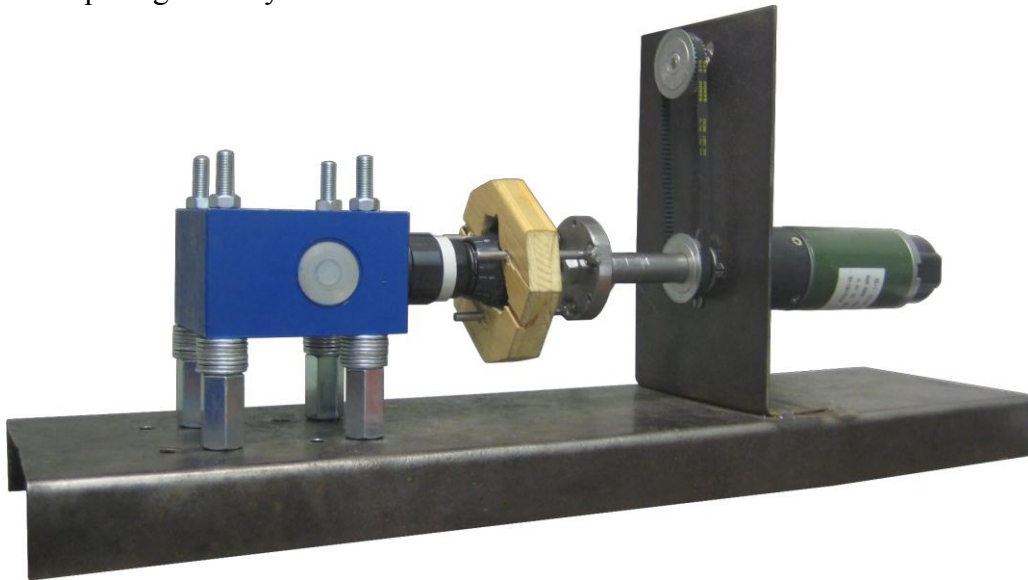


Obr. 10: Spôsob uchytenia hlavice ventilu v testovacom modeli

4.4. Výroba mechanickej časti

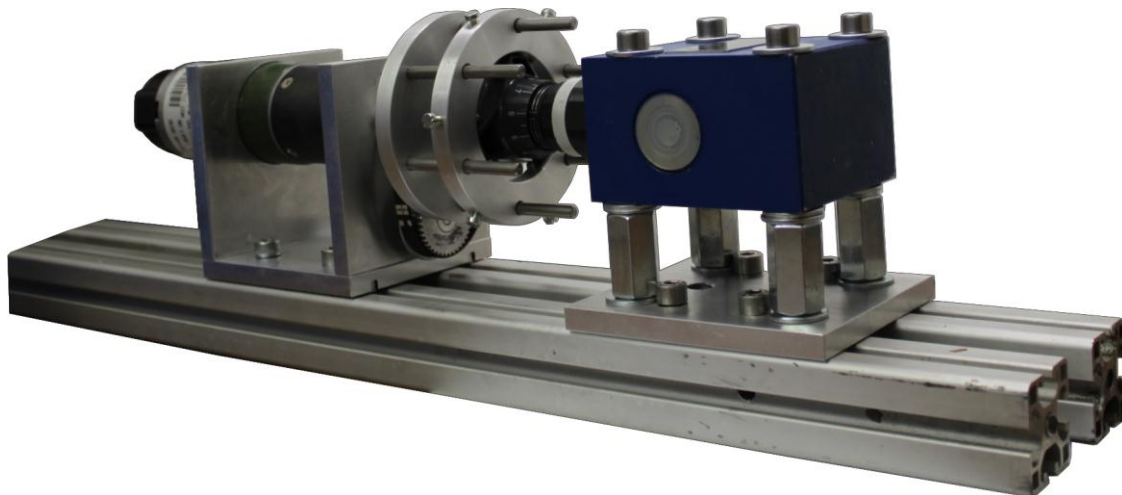
Na testovanie som zostrojil testovací model, ktorý bol lacný a rýchlo zhotoviteľný. Na prezentáciu sa nechal zostrojil reprezentačný model, v ktorom sa odstránili zistené nedostatky testovacieho modelu a mal krajší vzhľad.

Pri navrhovaní testovacieho modelu som dbal na výslednú hmotnosť, pevnosť a možnosť rozobrať a nastaviť model. Nosnú konštrukciu som zhotovil z plechu hrúbky 2 mm. Držiak na motor som privaril k spodnej podstave. Ventil som uchytil k spodnej podstave štyrmi šróbmi. Jeho výška sa dala nastavovať podložkami. Potenciometer bol prichytený k hriadeľu cez remeň. Testovací model fungoval správne. Bol však málo tuhý a motor sa pri regulácii kýval.



Obr. 11: Testovací model

Reprezentačný model sa nakreslil v programe SolidWorks a nechal sa vyrobiť vo fakultných dielňach. Výkresová dokumentácia je dostupná na priloženom CD.



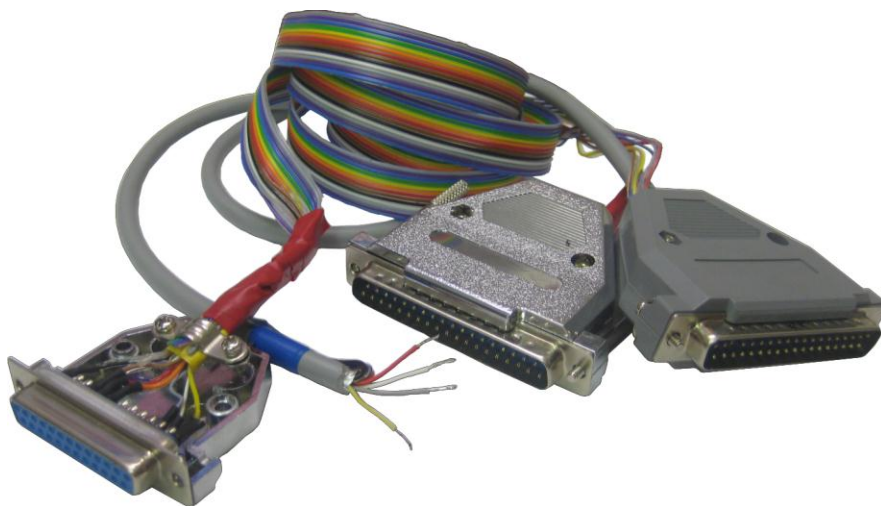
Obr. 12: Reprezentačný model

4.5. Výroba kabeláže

Na testovanie modelu pomocou RCP metódy bolo potrebné prepojiť kartu MF624 s potenciometrom a H mostíkom, z ktorého je napájaný motor. Z karty som vyviedol analógové výstupy na potenciometer a digitálne výstupy na PWM, DIR a BRK signály. Taktiež napájanie pre signálovú časť H mostíka a potenciometer. Pre lepšiu prehľadnosť som vypísal všetky potrebné vstupy a výstupy do tabuľky. Každý riadok v tabuľke odpovedá jednej žile kábla a dá sa z nej vyčítať na ktoré konektory je kábel pripájený. Pri pájení som na použité piny konektorov nainštaloval bužírky, aby som zabránil prípadnému skratu pri uvoľnení niektorej zo žíl kábla. Použil som konektory CANNON a to jeden 25 pinový a dva 37 pinové. Do potenciometra som vyviedol tienené káble.

CAN 25 – H mostík		MF 624 X1		MF 624 X2		Výstup
PIN 1	GNDA	PIN 9	AGND	PIN 29	GND	
PIN 8	PWM			PIN 31	T0OUT	
PIN 9	Dir	PIN 30	DOU0			
PIN 10	Brake	PIN 32	DOU2			
		PIN 1	AD0			Potenciometer
		PIN 2	AD1			Potenciometer
		PIN 26	-12V			Potenciometer
		PIN 27	+12V			Potenciometer
PIN 13	+5V			PIN 28	+5V	
PIN 23	Prúd. Čidlo	PIN 6	AD5			
PIN 16	Encoder			PIN 7	IRC1A+	
PIN 15	Encoder			PIN 9	IRC1B+	

Tabuľka 1, Rozdelenie pinov pri pájení kábla pre RCP simuláciu



Obr. 13: Kábel pre RCP testy

Na prepojenie modelu s DPS, teda doskou plošných spojov som musel podobným spôsobom vyrobiť nový kábel, ktorý mal na oboch koncoch konektory cannon 25, ktorých rozdelenie pinov sa nachádza v tabuľke 2. Potom som musel vyrobiť dva menšie káble na prepojenie signálu z potenciometra s DPS a signálu z PLC, v prúdovej podobe taktiež s DPS. Kábel na signál z potenciometra bol trojžilový z čoho jedna žila bola signál z jazdca potenciometra, zvyšné dve zem a napájanie. Tento kábel som k potenciomeru pripájal. Kábel pre spojenie s PLC obsahuje iba zem a prúdový signál. Oba menšie káble sú zakončené na jednej strane konektorom molex.

MCU Interface		LM 18200	
PIN	funkcia	PIN	funkcia
PIN 12	PWM	PIN 1	GND
PIN 13	+ 5V	PIN 8	PWM
PIN 25	+ 5V	PIN 9	Dir
PIN 11	DIR	PIN 10	Brake
PIN 10	BRK	PIN 13	+5V
PIN 4	ENC B+	PIN 16	Encoder A+
PIN 5	ENC A+	PIN 15	Encoder B+
PIN 14	GND	-	-
PIN 1	GND	-	-

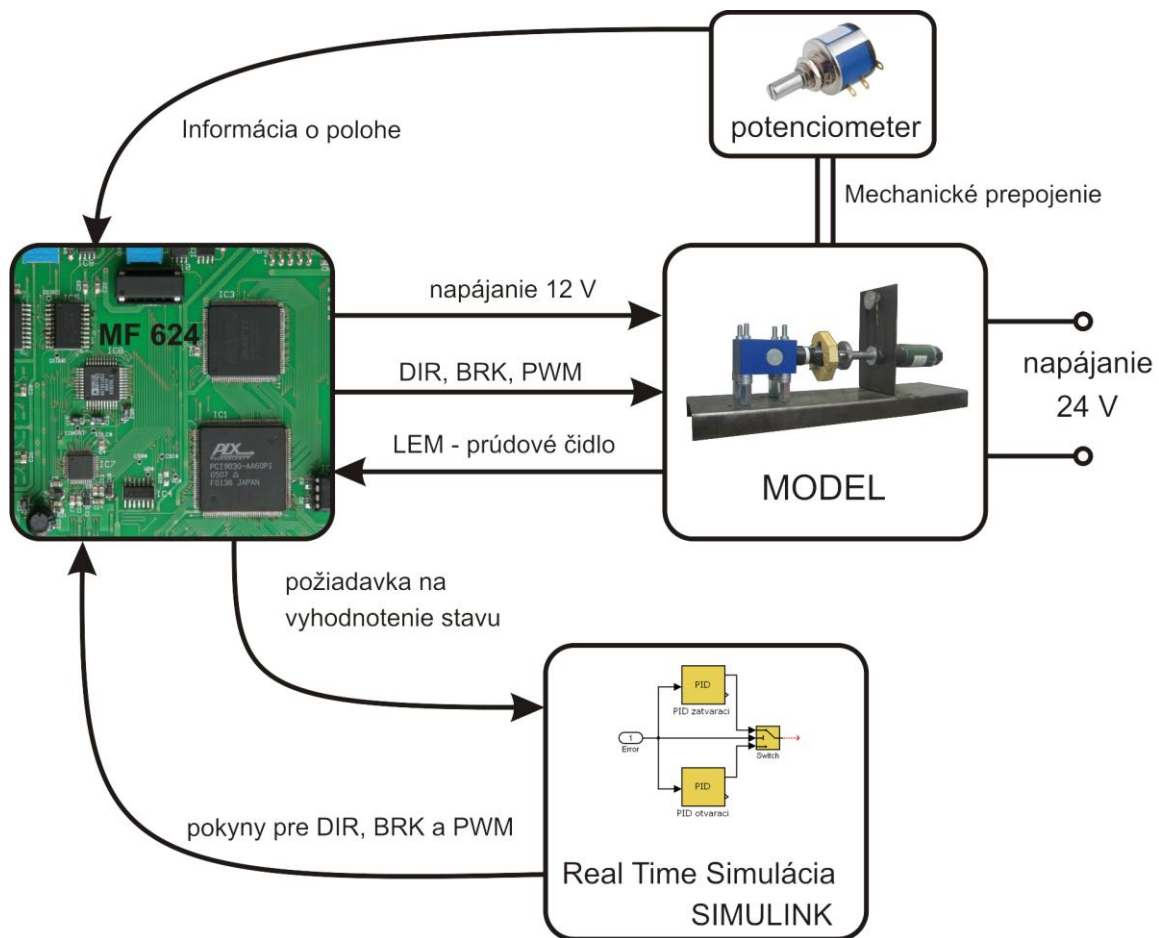
Tabuľka 2, Rozdelenie pinov pri pájení kábla pre spojenie s elektronikou



Obr. 14: Kábel pre dosku plošných spojov

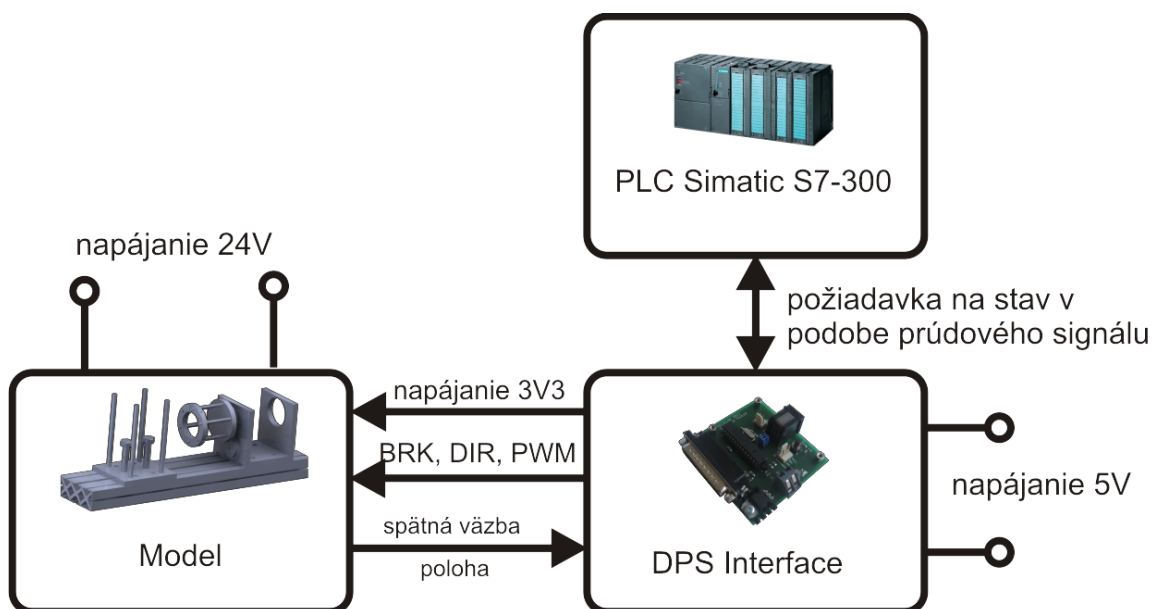
4.6. Prepojenie elektrických a mechanických komponentov

Pri testovaní modelu metódou RCP som PID regulátor realizoval pomocou softvéru Simulink. Na prepojenie modelu so Simulinkom som použil kartu MF 624. Typ, smer a zapojenie informačných tokov pre testovanie modelu RCP metódou popisuje obrázok 14.



Obr. 15: Schéma informačných tokov

Na prepojenie modelu s riadiacim signálom som použil elektronickú dosku Interface. Do mikrokontroléru dsPIC 33fj128MC802 som nainštaloval riadiaci kód vygenerovaný pomocou Kerhuel Toolboxu priamo zo simulinku. Spätaná polohová väzba sa meria rovnako ako pri RCP testoch potenciometrom. Typ, smer a zapojenie informačných tokov zapojenia s doskou Interface popisuje obrázok 15.



Obr. 16: Schéma informačných tokov s doskou plošných spojov

5. Návrh a testovanie PID regulátoru

Pri návrhu a testovaní PID regulátoru sústavy som postupoval podľa požiadaviek zadávateľa, teda, že výsledná chyba regulácie má byť v rozmedzí ± 0.5 MPa. Zadávateľ nezadal požiadavku na rýchlosť regulácie.

Vytvoril som model v Simulinku samostatne pre RCP testy a pre zapojenie s elektronikou, ktoré som použil na akvizíciu dát.

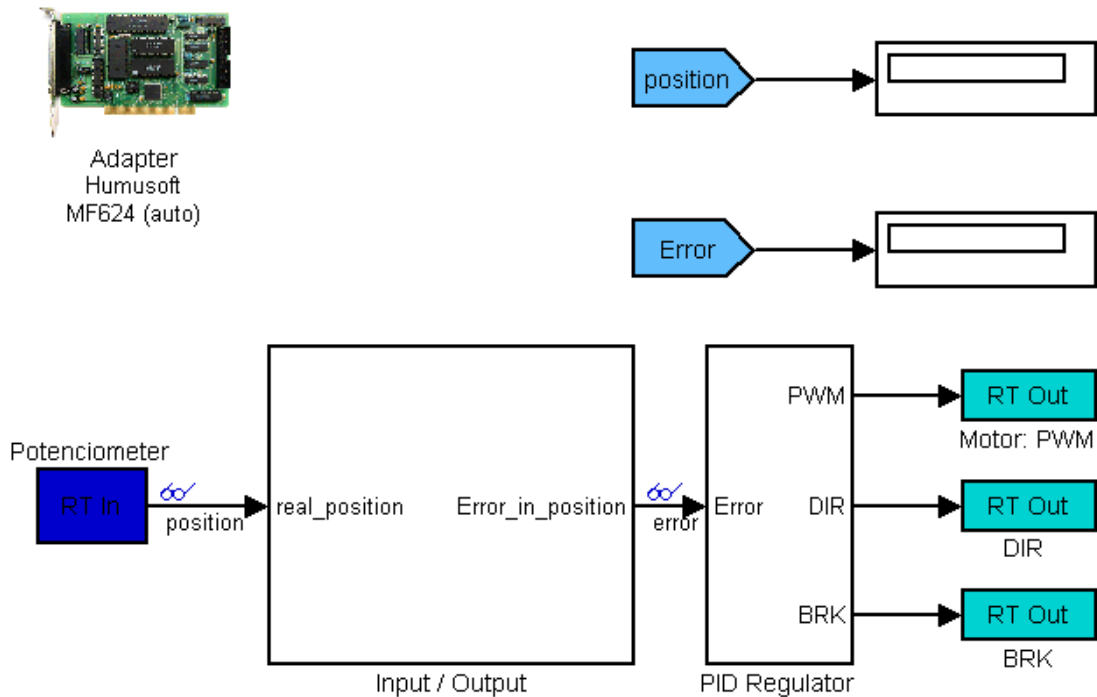
Testy som previedol hlavne metódou RCP testov a k záveru som otestoval odozvu sústavy na zmenu polohy v zapojení s elektronikou.

5.1. Tvorba programu v Simulinku

Tvorba programu pre RCP testy

Pri vytváraní softwaru, ktorý mal slúžiť na ovládanie modelu pomocou Simulinku bolo potrebné načítať a spracovať vstupné dáta a vytvoriť výstupné, ktorými boli smer otáčania a PWM signál. Vstupné dáta boli informácia o skutočnej polohe z potenciometra a informácia o žiadanej polohe, ktorú sa generovala softvérovo. PWM signál pozostával z nosnej frekvencie, ktorá sa nastavila na 8000Hz a striedy. Strieda bola premenlivá, podľa požiadavky PID regulátoru. PID regulátor sa realizoval pomocou simulinkovského bločku Discrete PID controller, ktorý vykazoval lepšie vlastnosti ako klasický PID regulátor. V programe som ďalej použil funkciu brake, ktorou bolo možné manuálne vypnúť pohon.

Celkový program (Obr. 12) pozostáva z dvoch subsystémov a to Input / Output a PID Regulator. Sledované veličiny sú pozícia natočenia a chyba pozície, spôsobená požiadavkou na zmenu pozície. Schéma vo formáte .mdl je dostupná na priloženom CD.



Obr. 17: Schéma programu pre RCP simuláciu

Nastavenie bločkov RT In a RT Out som previedol podľa [9]. Vstup z potenciometra bol analógový. Ostatné použité výstupy boli digitálne. Podrobný popis použitých vstupov a výstupov je v tabuľke 3.

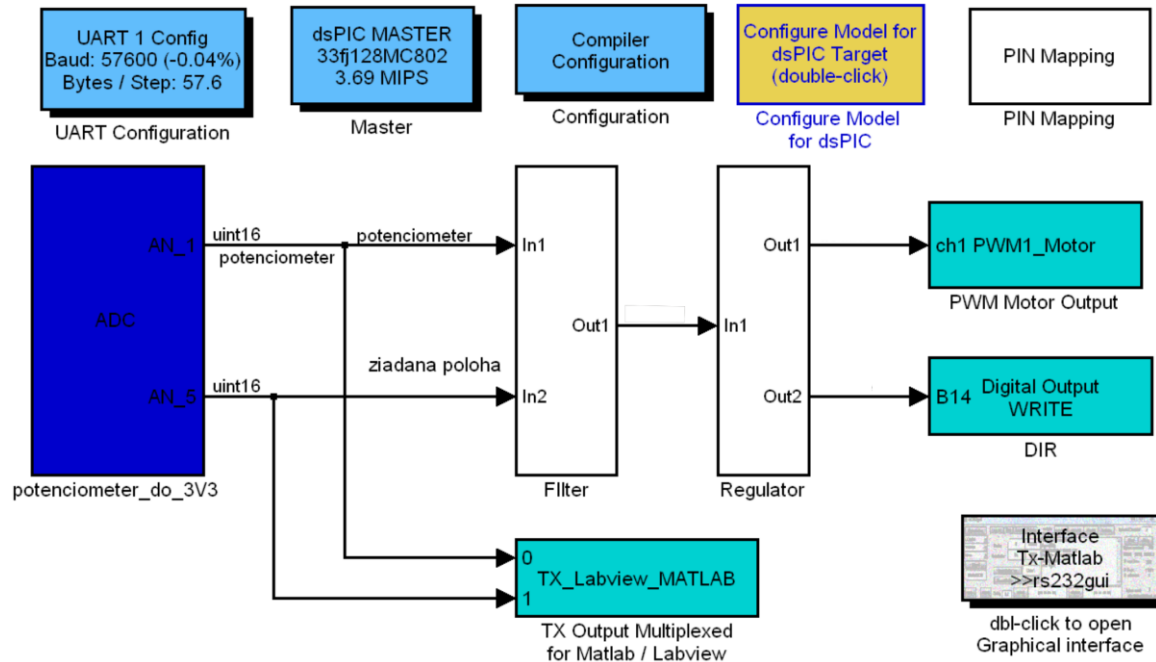
Názov bločku	Vstup / Výstup	Typ V / V	V / V kanály	Počiatočná hodnota	Konečná hodnota
Potenciometer	Vstup	analógový	[1]	-	-
PWM	Výstup	other (iný)	[1 2]	[0 0]	[0 0]
BRK	Výstup	digitálny	[2]	[1]	[1]
DIR	Výstup	digitálny	[1]	[0]	[0]

Tabuľka 3: Popis použitých vstup a výstupov pre RCP simuláciu

Tvorba programu pre Dosku plošných spojov - Interface

Pre tvorbu programu pre mikrokotóler na doske plošných spojov Interface som použil softvér Simulink. Analogové vstupy sú žiadaná poloha v podobe prúdového signálu a reálna poloha ako spätná väzba z potenciometra. Výstupmi sú PWM signál a

smer pre H-mostík. Výstupy sú opäť digitálne. Schému programu pospisuje obrázok 18. Samotný program pozostáva zo vstupných a výstupných bločkov, filtra a regulátoru.



Obr. 18: Schéma programu pre mikrokontrolér

Spôsob nastavenia jednotlivých pinov zobrazuje tabuľka 4.

Názov bločku	Výstup/Výstup	Typ V/V	PIN
Potenciometer 3V3	Vstup	analógový	AN_1
Ziadaná poloha	Vstup	analógový	AN_0
DIR	Výstup	digitálny	B14
PWM motor output	Výstup	PWM digitálny	ch1
BRK	Výstup	digitálny	B13

Tabuľka 4: Popis použitých vstupov a výstupov pre schému v Kerhuel Toolboxe

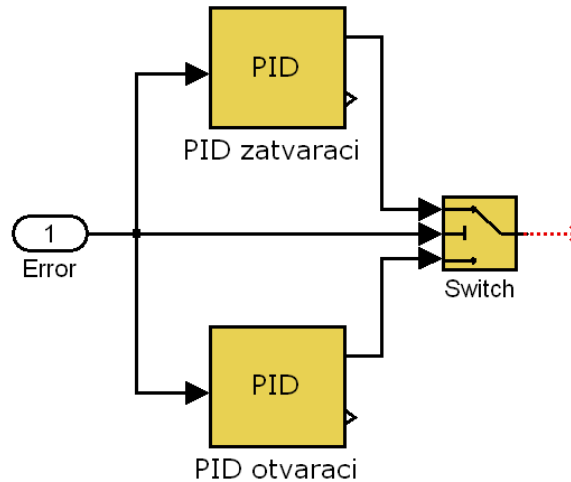
5.2. Ladenie PID regulátoru

Ladenie PID regulátoru v RCP testoch

PID regulátor som ladil experimentálne. A to tak, že som nechal príspevok I a D zložky na nule. Príspevok od P zložky som nastavil na hodnotu 0.05 a postupne som ju zvyšoval až kým sa skutočná poloha približovala žiadanej polohe bez prekmitu a čo najrýchlejšie. Potom som zvýšil I zložku tak aby som minimalizoval ustálenú chybu regulácie a aby sústava regulovala s minimálnych prekmitom.

Keďže sústava reagovala odlišne na rotáciu v smere zatvárania sa ventilu ako na rotáciu v smere otvárania sa ventilu urobil som dva PID regulátori. Jeden sa realizoval pri

zatváraní ventilu a druhý pri jeho otváraní. Switch bol nastavený tak, aby prepúšťal PID zatvárací, alebo PID otvárací podľa toho, či je regulačná chyba polohy kladná alebo záporná. Konečné hodnoty PID regulátorov sú uvedené v tabuľke 3.



Obr. 19: PID regulátory

	PID zatvárací	PID otvárací
P	0,75	0,7
I	0,0075	0,006
D	0	0

Tabuľka 5: Konštanty PID regulátorov

Ladenie PID regulátoru pre zapojenie s elektronikou - Interface

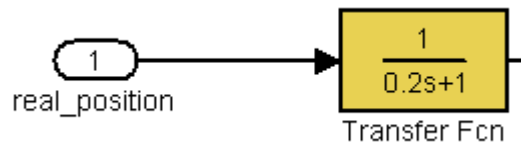
Pre zapojenie sústavy s doskou plošných spojov som ladir PID regulátor znovu experimentálne a podobne ako v prípade ladenia pri RCP testoch. Najprv som naladir P zložku tak, aby regulovala s dostatočnou presnosťou a bez prekmitu a potom I zložku, tak aby nespôsobovala prekmit. V tomto zapojení som narazil na problém, že sa príliš spúšťal H-mostík a hrozilo jeho poškodenie prehriatím. Musel som teda prirobiť k H-mostíku chladič. Pre zložitosť programu a zanedbateľnosť rozdielu regulácie pri zatváraní a otváraní ventilu v tomto zapojení som sa rozhodol tieto vplyvy zanedbať. Výsledné hodnoty PID regulátoru sú v tabuľke 6. Podrobné zapojenie a .mdl súbor je dostupný na priloženom CD.

	PID
P	5
I	0.06
D	0

Tabuľka 6: Hodnoty PID regulátoru pre zapojenie s elektronikou

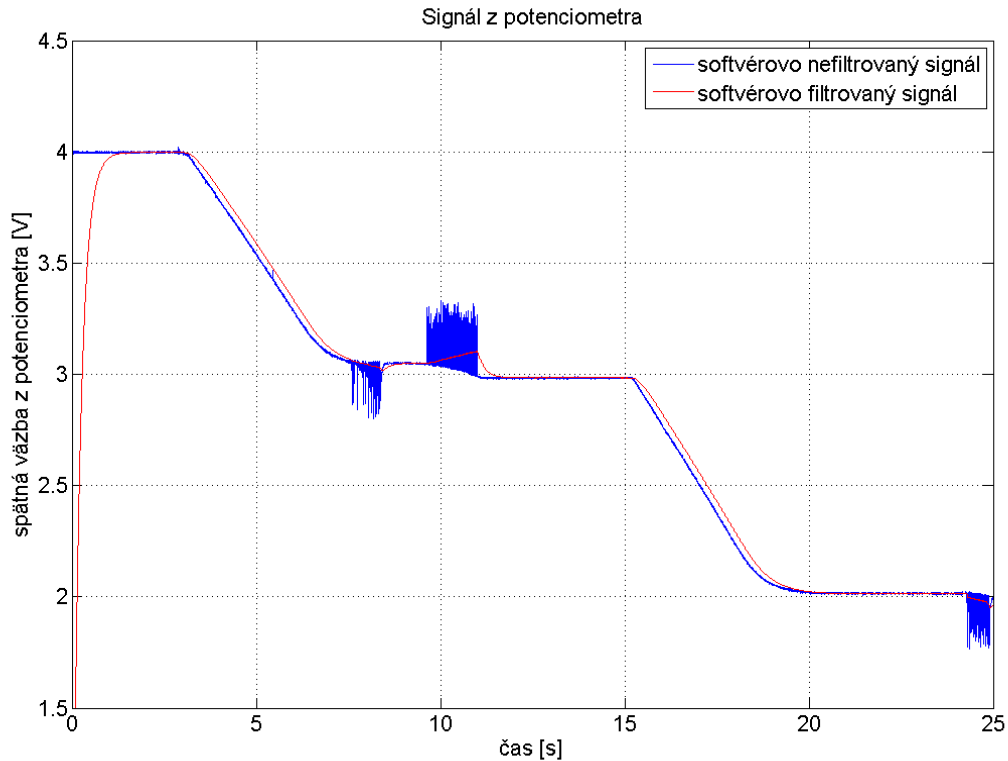
Filtrácia signálu z potenciometra v RCP testoch

Aby sa zmenšil šum signálu z potenciometra boli použité dva filtre. Jeden softvérový bol umiestnený za vstupný signál z potenciometra. Jeho prenosovú funkciu som nastavil na : $F_F = \frac{1}{0.2s+1}$



Obr. 20: filtrácia vstupného signálu z ponciometra

Pri tejto hodnote filter filtroval prekmity a iba málo spomaľoval reguláciu. Na obrázku 21. filtrovaný signál (červenou) má na začiatku regulácie nulovú hodnotu napätia. To je spôsobené tým, že filter je realizovaný softwarovo.



Obr. 21: Softwarovo filtrovaný a nefiltrovaný signál z potenciometru

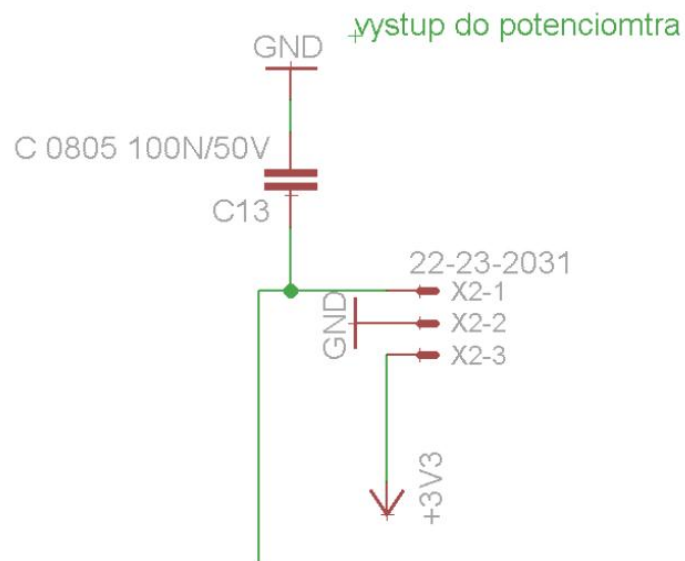


Druhý filter bol realizovaný v podobe keramického kondenzátora $100nF/63V$. Vplyv filtra demoštruje obrázok 24. Tento filter bol potrebný pre presnú reguláciu pri otváraní ventilu, kedy sústava vykazovala väčší šum. Kondenzátor som pripevnil medzi analógovú zem karty MF 624 (AGND) a signál z jazdca potenciometra. Zvýšila sa tým hladkosť signálu čítaného kartou (červená farba).

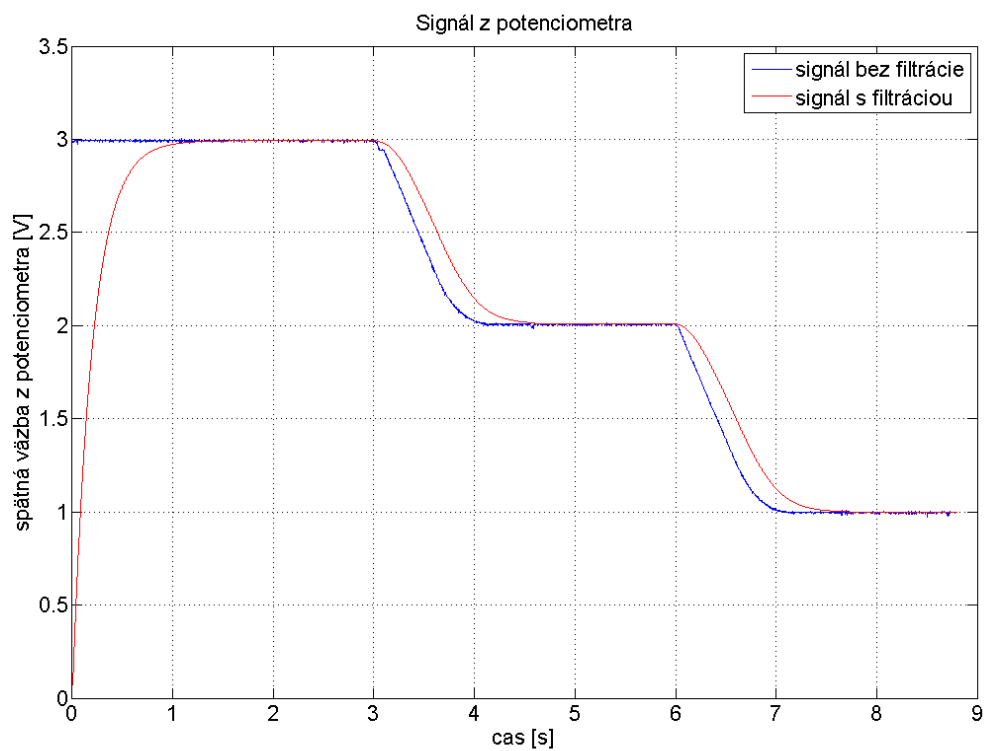
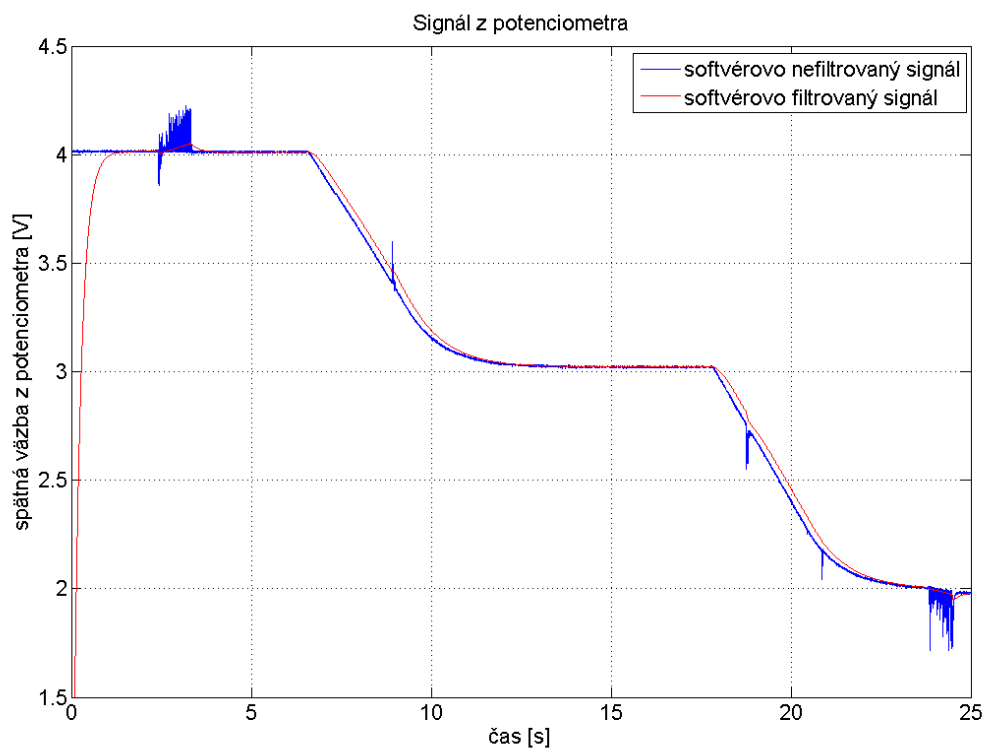
Obr. 22: Filtračný kondenzátor

Filtrácia signálu z potenciometra v zapojení s elektronikou - Interface

Na filtráciu šumu som použil filtračný kondenzátor na vstupe do DPS z potenciometra o veľkosti $100nF/50V$. Kondenzátor musel byť zapojený medzi filtrovaným signálom a zemou.



Obr. 23: Filtračný kondenzátor v elektronike



Obr. 24: Porovnanie signálu nefiltrovaného kondenzátorom (horný) so signálom filtrovaným kondenzátorom (spodný) v RCP testoch.

5.3. Odozva na jednotkové skoky

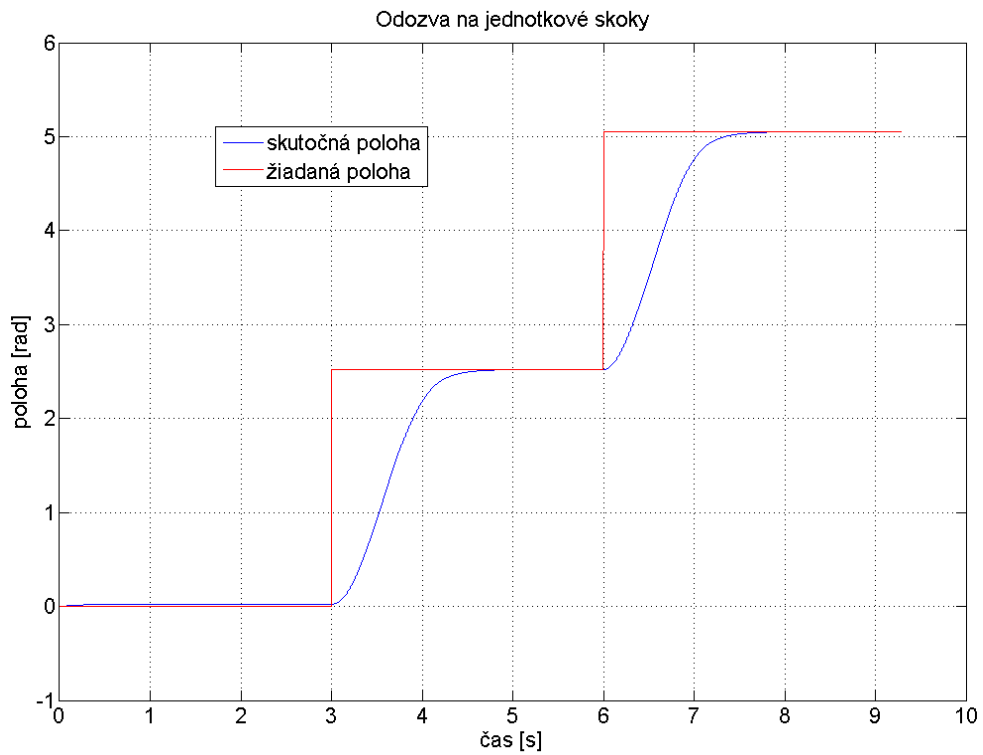
V RCP testoch som meral odozvu na dva jednotkové skoky za sebou po dvoch sekundách. Sústava vykazovala rozdielne vlastnosti pri zatváraní a otváraní ventilu. Pri zatváraní ventilu mala tendencie premitávať a pri otváraní sa utlmiť. Okrem odozvy som namerlal spätnovazbový signál z potenciometra a akčné veličiny, zásahy zložiek PID regulátoru.

Pri zatváraní ventilu (regulácia nahor) sa šum potenciometra prejavoval iba v malých impulzoch a jeho vplyv na reguláciu bol minimálny. Nebolo teda potrebné použiť filtráciu pomocou kondenzátora.

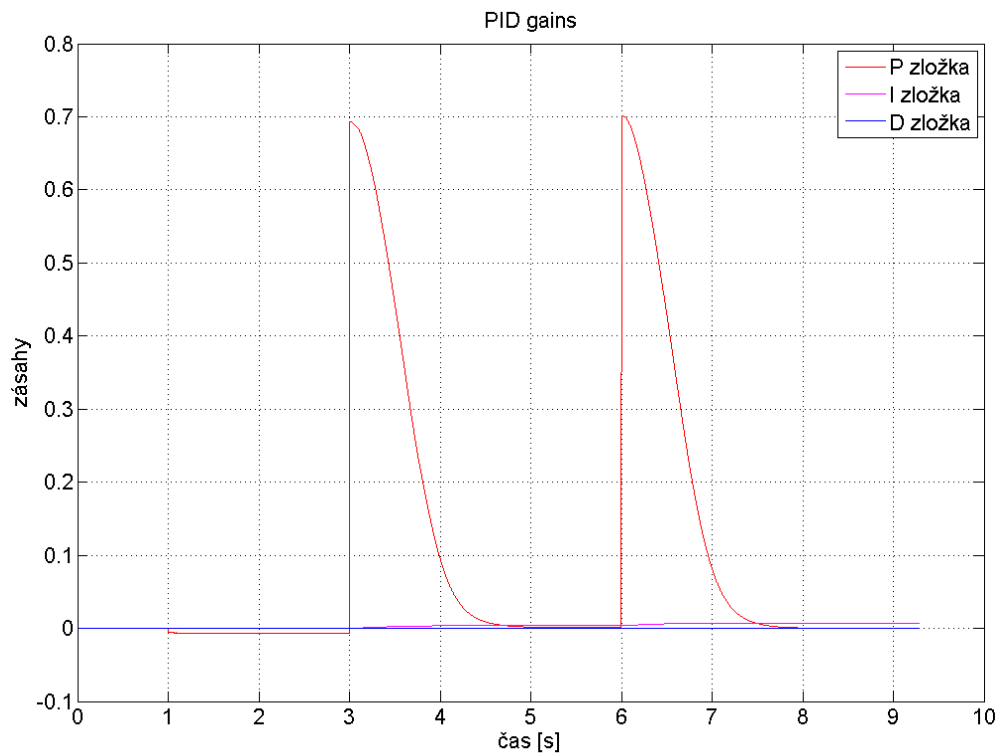
Regulácii pri otváraní ventilu som musel rozšíriť napet'ový rozsah potenciometra na $\pm 12V$. Keďže som zachoval veľkosť P zložky regulátoru, znížil som tým zosilnenie šumu potenciometra. Šum napriek tomu rušil reguláciu. Preto som použil filtráciu signálu potenciometra pomocou elektrolytického kondenzátora, pomocou ktorej som dosiahol výsledky ustálenej odchýlky polohy ďaleko v rámci dovolenej odchýlky.

Odozvy sústavy na jednotkové skoky namerané metódou RCP zobrazujú obrázky 24 ÷ 27.

Regulácia pri zatváraní ventilu v RCP testoch

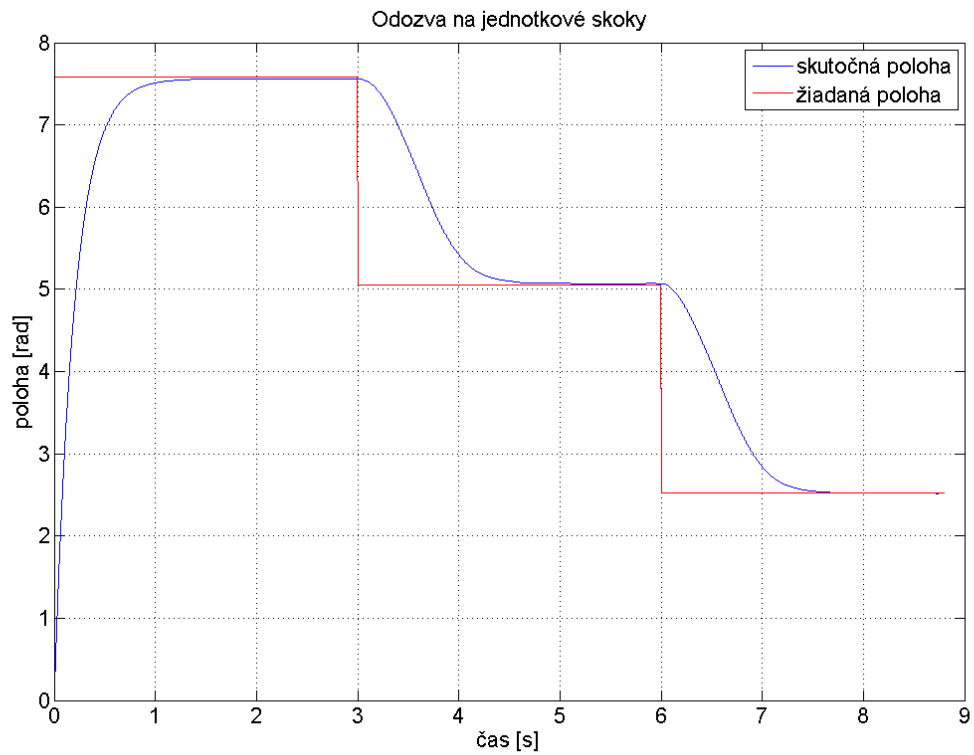


Obr. 24: Odozva na jednotkové skoky pri zatváraní ventilu

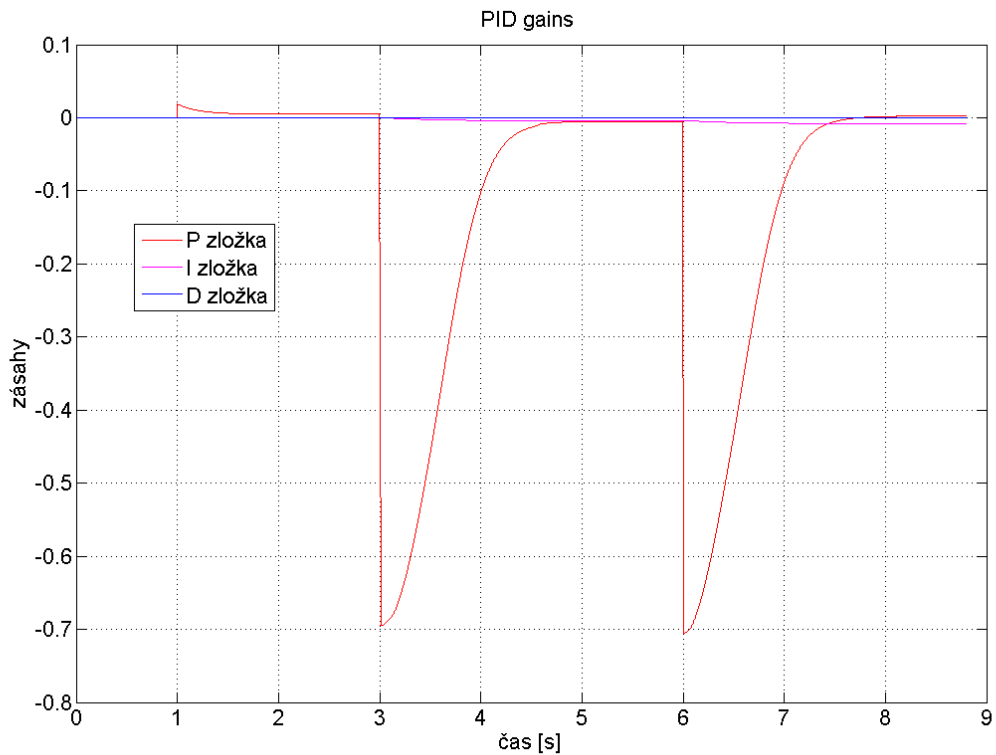


Obr. 25: Akčné zásahy PID regulátoru pri zatváraní ventilu

Regulácia pri otváraní ventilu v RCP testoch



Obr. 26: Odozva na jednotkové skoky pri otváraní ventilu



Obr. 27: Akčné zásahy PID regulátoru pri otváraní ventilu

5.4. Odozva prototypu na zmenu žiadanej polohy

Po nainštalovaní riadiaceho softvéru do mikrokontroléra a naladení PID regulátoru v ňom som mohol pomocou sériovej linky RS 232 pripojenej k počítaču cez prevodník napät'ových úrovní pre UART – RS232 zmerať odozvy sústavy na zmenu žiadanej polohy.

Keďže som nemal dostupný zdroj prúdu, musel som prúdový vstupný signál na žiadanú polohu previesť na napät'ový. Odpovedajúce vstupné napätie bolo v rozmedzí 1,92 V ÷ 9.6 V. V Simuliku sa tento rozsah rozdelil na 932 dielov.

Ventil reguloval celý rozsah tlaku v rozmedzí 8,5 otáčky. Tento rozsah sa v Simulinku rozdelil na 879 dielov.

Veľkosť chyby regulácie som zistil tak, že som porovnal počet dielov pripadajúcich na celý rozsah regulácie k počtu, ktoré určovali rozdiel reálnej a žiadanej polohy. V grafe je celkový rozsah polohy prepočítaný na radiány. Prepočet na radiány som urobil podľa nasledovného vzorca:

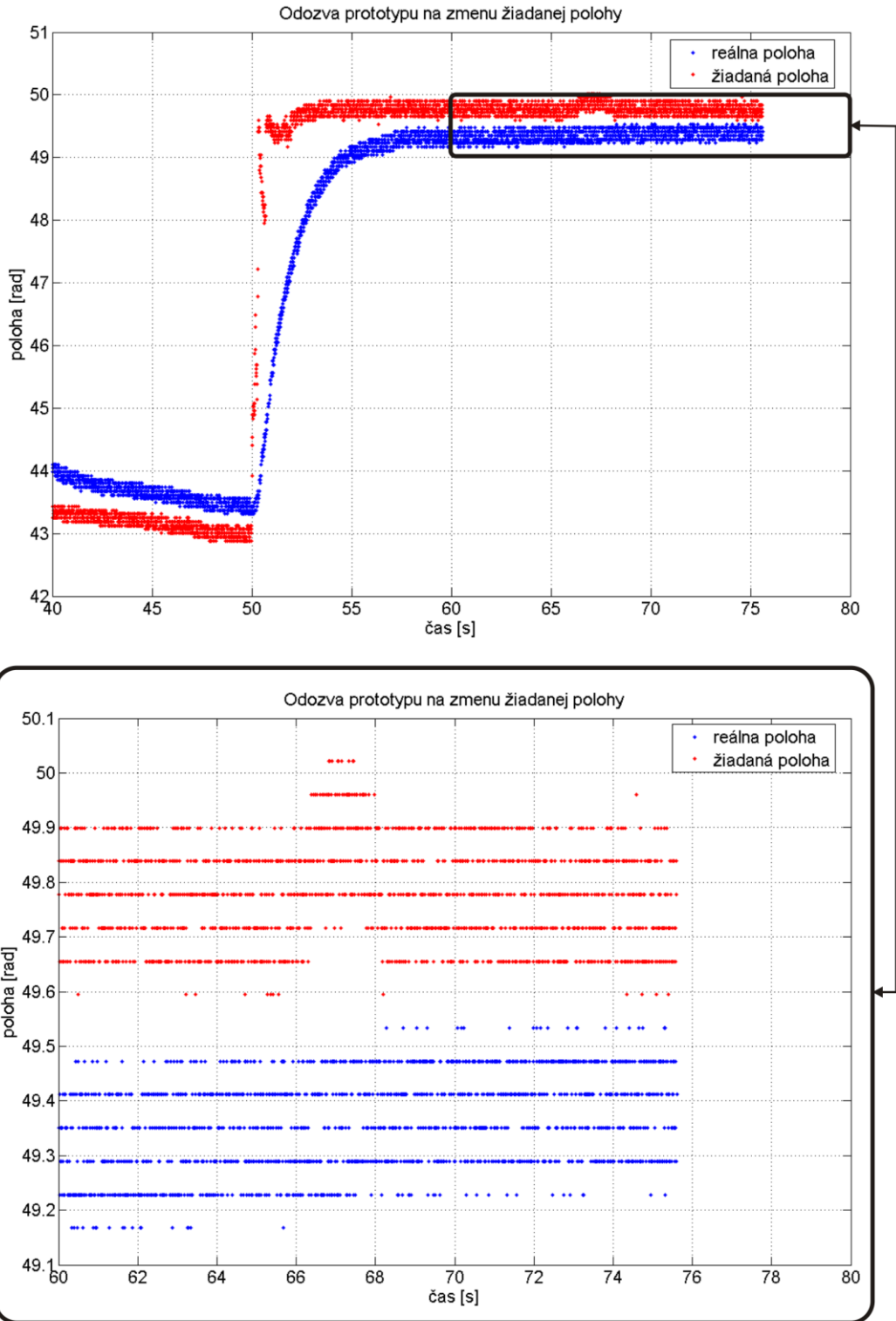
$$poloha \text{ v radiánoch} = 2\pi \frac{\text{počet dielov}}{103}$$

Kde 103 je počet dielov pripadajúci na jednu otáčku potenciometra.

Ako vidieť na obrázku 28 je priemerná hodnota reálnej polohy 49.35 radiánu a žiadanej polohy po zaokrúhlení 49.8 radiánu. Teda je chyba polohy 0.45 radiánu. Celkový rozsah regulovaného tlaku je 35MPa a je regulovaný 8,5 otáčkami, ktoré predstavujú 53,4 radiánov. Chyba tlaku je teda:

$$\Delta P = 35MPa \frac{0,45 \text{ rad}}{53,4 \text{ rad}} = 0,295 \text{ MPa}$$

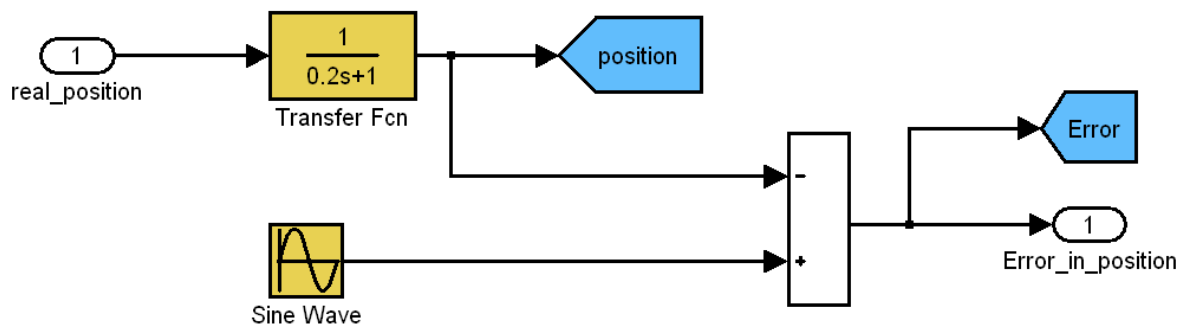
Pričom maximálna zadávateľom dovolená odchylka je 0.5MPa. Chyba tlaku ΔP je teda 41% pod maximálnou dovolenou odchýlkou.



Obr. 28: Odozva prototypu na zmenu žiadanej polohy

5.5. Meranie Bodeho charakteristiky

Zmeranie Bodeho charakteristiky som previedol RCP testom vo frekvenčnom rozmedzí $0.5 \text{ rads}^{-1} \div 10 \text{ rads}^{-1}$. Vyššie frekvencie spôsobovali rýchle reverzácie. Na vstup žiadanej polohy som privedol sínusový signál pomocou bločku Sin Wave.

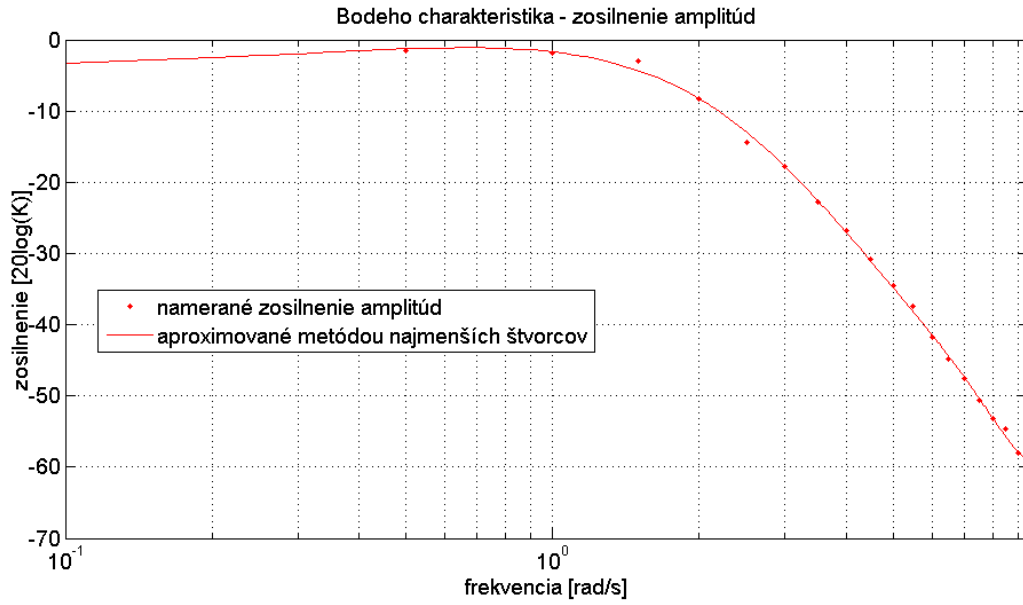


Obr. 29: Simulinková schéma pre meranie Bodeho charakteristiky

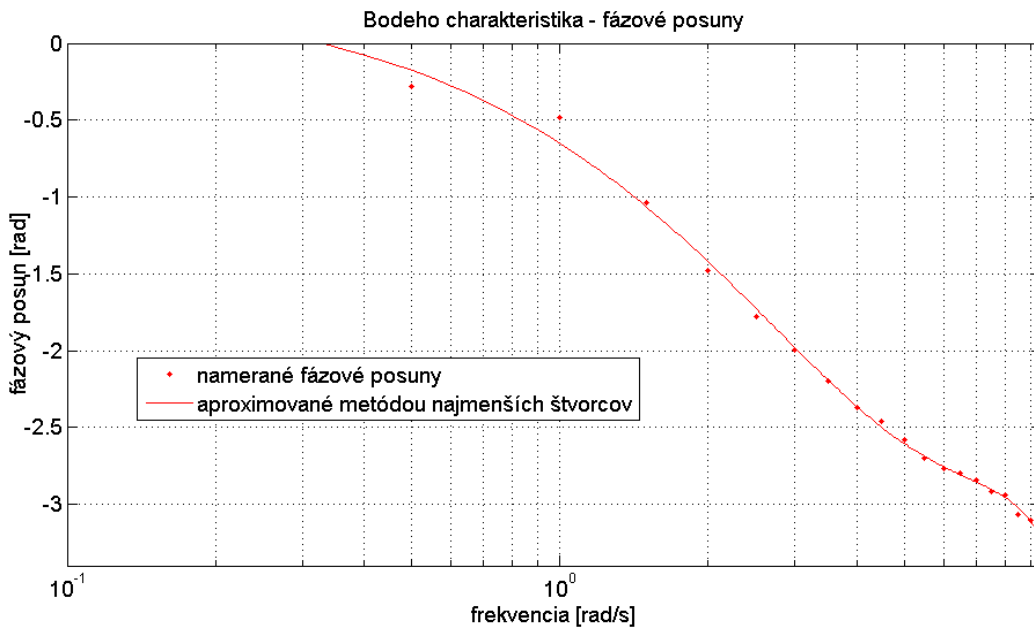
Pre frekvencie v meranom rozmedzí som s krokom 0.5 rads^{-1} zmeral žiadajú polohu a skutočnú polohu. Z dát som vypočítal zosilnenie a fázový posun sústavy pomocou m-file *Suransky_BP2011_Bodeho_graf.m*, ktorý je na priloženom CD. Fázový posun som meral ako posun medzi polohami pre výchylku 0 rads^{-1} . Zosilnenie som určil ako pomer amp-litúdy reálnej a žiadanej polohy. Namerané dáta som vykreslil do grafu a preložil poly-nómomami 4: pre fázový posun a 5. stupňa pre zosilnenie.

frekvencia [rad/s]	fázový posun [rad/s]	zosilnenie [20log(K)]
0,5	0,2815	-1,5423
1	0,4820	-1,8612
1,5	1,035	-2,9542
2	1,4780	-8,2870
2,5	1,78	-14,3763
3	1,998	-17,7541
3,5	2,2015	-22,8060
4	2,372	-26,7329
4,5	2,4615	-30,8226
5	2,58	-34,4694
5,5	2,7005	-37,4923
6	2,7660	-41,7535
6,5	2,7950	-44,8943
7	2,8420	-47,5801
7,5	2,9175	-50,6610
8	2,9360	-53,1148
8,5	3,0685	-54,6936
9	3,0685	-54,6936
9,5	3,1920	-59,0311

Tabuľka 7, Namerané hodnoty pre Bodeho charakteristiku



Obr. 30: Bodeho charakteristika , zosilnenie amplitúd



Obr. 31: Bodeho charakteristika , fázový posun

6. Záver

Mojou úlohou bolo navrhnuť mechatronický model pre automatizáciu ventilu. Podľa bežného postupu som najskôr zostrojil testovací model a navrhol reprezentačný model na ktorom som odstránil nedostatky testovacieho a ktorý bol krajší. Navrhol som elektroniku, pomocou ktorej je možné ovládať polohu ventilu zadávateľom preferovaným prúdovým signálom $4 \text{ mA} \div 20 \text{ mA}$.

Pri výrobe mechanickej časti nastali iba drobné komplikácie ohľadom lineárneho posunu hlavice ventilu, ktoré sa dali jednoducho vyriešiť. Do popredia by som vyzdvihol fakt, že nutnosť vyrobiť prototyp s čo najmenšími nákladmi ma prinútila vyrobiť univerzálne koleso na uchytienie hlavice ventilu. Pri návrhu dosky plošných spojov pre riadiacu elektroniku som použil v laboratóriu viackrát overené zapojenie a funguje teda bez problémov. Výroba zberníc taktiež prebehla bez komplikácií a to či sa jedná o výrobu káblu pre akvizíciu dát alebo o výrobu káblu na prepojenie riadiacej elektroniky s výkonovou.

Po zostrojení modelu ho bolo nutné naladiť a pretestovať. Pri meraní odozvy sústavy na jednotkové skoky a pri meraní Bodeho charakteristiky sústavy som narazil na problém, že sústava sa správala inak pri otváraní ako zatváraní ventilu. Musel som teda použiť iný regulátor, pre každý smer. Pri ladení prototypu, teda modelu, ktorého poloha bola ovládaná prúdovým signálom som mohol túto skutočnosť zanedbať. Avšak pri ladení prototypu som mal ťažkosti s kmitaním. Prototyp výrazne kmital a už pri malých hodnotách I zložky regulátora. Napriek tomu sa mi prototyp podarilo nastaviť tak, že polohuje ventil s odchýlkou výrazne pod hranicou dovolenej odchýlky.

Signál z potenciometra, ktorý snímал okamžitú polohu, pri meraní odozvy sústavy na jednotkový skok pri otváraní ventilu príliš šumel a musel som teda použiť extra vyhladzovací kondenzátor. Po použití kondenzátoru som dosiahol aj v tomto smere presnosť regulácie o 40% vyššiu ako bola zadávateľom žiadaná. Na filtráciu signálu v programe na ovládanie dosky plošných spojov som použil CIC filter.

Prototyp sa mi podarilo naladiť tak, že dosahuje pri regulácii hodnoty polohy o 40% presnejšie ako je žiadané zadávateľom.

Myslím si, že vo všeobecnosti som splnil vytýčené ciele, aj keď na modeli je stále čo vylepšovať. Aby sa dosiahla kvalita žiadaná pre komerčný produkt, museli by sa všetky nožičky mikroprocesora v riadiacej elektronike vyviesť na konektory, aby sa elektronika stala univerzálnejšou. Ďalej by som navrhoval všetky cesty k jednotlivým nožičkám vybaviť LED diódou, aby bolo možné kontrolovať funkčnosť signálu v nich.

7. Zoznam obrázkov a tabuliek

- Obrázok 1: strana 17, Ručne nastavovaný poistný ventil [7]
Obrázok 2: strana 18, Rekuperácia [4]
Obrázok 3: strana 19, Automatizovaný ventil Rexroth [1]
Obrázok 4: strana 21, Štruktúra RCP modelu
Obrázok 5: strana 22, PLC Simatic S7-300 [6]
Obrázok 6: strana 22, FM355 modul [6]
Obrázok 7: strana 23, Ventil s hlavicom
Obrázok 8: strana 24, DPS Interface
Obrázok 9: strana 25, Koleso na uchytenie hlavice ventilu
Obrázok 10: strana 25, Spôsob uchytenia hlavice ventilu v testovacom modeli
Obrázok 11: strana 26, Testovací model
Obrázok 12: strana 26, Reprezentačný model
Obrázok 13: strana 27, Kábel pre RCP testy
Obrázok 14: strana 28, Kábel pre dosku plošných spojov
Obrázok 15: strana 29, Schéma informačných tokov
Obrázok 16: strana 30, Schéma informačných tokov s DPS
Obrázok 17: strana 31, Schéme programu pre RCP simuláciu
Obrázok 18: strana 32, Schéma programu pre mikrokontroler
Obrázok 19: strana 33, PID regulátory
Obrázok 20: strana 34, Filtrácia vstupného signálu z potenciometra
Obrázok 21: strana 34, Softwarovo filtrovaný a nefiltrovaný signál z potenciometru
Obrázok 22: strana 35, Filtračný kondenzátor
Obrázok 23: strana 35, Filtračný kondenzátor v elektronike
Obrázok 23: strana 35, Porovnanie signálu nefiltrovaného kondenzátorom (horný) so signálom filtrovaným kondenzátorom (spodný)
Obrázok 24: strana 36, Odozva na jednotkové skoky pri zatváraní ventilu
Obrázok 25: strana 38, Akčné zásahy PID regulátoru pri zatváraní ventilu
Obrázok 26: strana 38, Odozva na jednotkové skoky pri otváraní ventilu
Obrázok 27: strana 39, Akčné zásahy PID regulátoru pri otváraní ventilu
Obrázok 28: strana 41, Odozva prototypu na zmenu žiadanej polohy
Obrázok 29: strana 42, Simulinková schéma pre meranie Bodeho charakteristiky
Obrázok 30: strana 43, Bodeho charakteristika , zosilnenie amplitúd
Obrázok 31: strana 43, Bodeho charakteristika , fázový posun
- Tabuľka 1: strana 27, Rozdelenie pinov pri pájení kábla
Tabuľka 2: strana 28, Rozdelenie pinov pri pájení kábla pre spojenie s doskou plošných spojov
Tabuľka 3: strana 31, Popis použitých vstup a výstupov pre RCP simuláciu
Tabuľka 4: strana 32, Popis použitých vstupov a výstupov pre schému v Kerhuel Tool-boxe
Tabuľka 5: strana 33, Konštanty PID regulátorov
Tabuľka 6: strana 33, Hodnoty PID regulátoru pre zapojenie s elektronikou
Tabuľka 7: strana 42, Namerané hodnoty pre Bodeho charakteristiku

8. Zoznam použitých skratiek

BP	bakalárska práca
DC	direct current
RCP	rapid controll prototyping
PC	personal computer
RS232	sériová komunikačná linka
PLC	programmable logic controller
HIL	Hardware in the loop
SIL	Software in the loop
PIL	procesor in the loop
ABS	Anti-lock braking system
FADEC	Full authority digital engine control
I/O	Input/Output , Vstup/Výstup
MF 624	PC karta slúžiaca na akvizíciu dát
mA	miliampér
V	volt
LEM	prúdový senzor
H-mostík	elektronická súčiastka slúžiaca na spínanie motora
PWM	pulse width modulation
DIR	direction , smer
BRK	break , brzda
DPS	doska plošných spojov
W	watt , jednotka výkonu
Nm	newton meter , jednotka krútiaceho momentu
dsPIC	mikrokontroler
PID	Proporcionálno-integračne - derivačný regulátor
Hz	Hertz , jednotka frekvencie
RT	Real time
AD	Analog-digital , analógovo-digitálny
AGND	Analog ground , analógová zem
rad	radián
LED	light emitting diode
GUI	Graphic user interface , grafické používateľské rozhranie
MPa	megapascal
kPa	kilopascal

9. Referencie

- [1] *Datasheet Pressure relief valve with DC motor operation* [online]. 2009 [cit. 2011-05-23]. Dostupný z <WWW: http://www.hypneu.de/cms/uploads/media/re29139_2007-06.pdf>.
- [2] BEZDÍČEK; ČOUPEK; GREPL, R.. *Mechatronika vybrané problémy*. Brno : Tribun, 2008, 140 s. ISBN 978-80-214-3804-0.
- [3] *Precision MBA* [online]. 2009 [cit. 2011-05-23]. Dostupný z <WWW: http://www.precisionmba.com/rapid_control_prototyping.htm>.
- [4] *ATSK* [online]. 2009 [cit. 2011-05-23]. Dostupný z <WWW: <http://www.kompresory-info.sk/teoria/>>.
- [5] *PLC Simatic S7-300* [online]. 2009 [cit. 2011-05-23]. Dostupný z <WWW: http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data_files/katalogy/st70/cat_st-70_2009_en.pdf>.
- [6] *Pojistné ventily - přímo řízené - Typ DBD* [online]. 2009 [cit. 2011-05-23]. Dostupný z < <http://www.boschrexroth.cz/various/utilities/lucsearch.jsp?oid=19061>>.
- [7] *e-learning University of Michigan* [online]. 2009 [cit. 2011-05-23]. Dostupný z <WWW: http://www.me.cmu.edu/ctms/modeling/tutorial/systemidentification/main_frames.htm>.
- [8] *Pocket Guide on Industrial Automation* [online]. 2009 [cit. 2011-05-23]. Dostupný z <WWW: <http://www.pacontrol.com/download/Industrial-Automation-Pocket-Guide.pdf>>.

10. Prílohy

M-file na zmeranie a vykreslenie Bodeho charakteristiky

```
clc
close all;

%Meranie zosilnenia a fazoveho posunu
%frekvencia = -0.5; % [rad/s]

%a = 5000;
%max_real = 0;
%max_req = 0;

%max_real = max(real_pos.signals.values);
%max_req = max(req_pos.signals.values);

%K = max_real/max_req;
%gain = 20*log(K);

%figure
%plot(real_pos.time,real_pos.signals.values)
%hold on
%plot(req_pos.time,req_pos.signals.values,'r')
%title('Porovnanie pozícií')
%xlabel('čas [s]')
%ylabel('pozícia [V]')
%grid on

%real_pos.signals.values = abs(real_pos.signals.values);
%req_pos.signals.values = abs(req_pos.signals.values);

%i = 10000;

% while real_pos.signals.values(i) > 0.01
    %cas_real = real_pos.time(i);
    %i = i+1;
%end

%j = 10000;

% while req_pos.signals.values(j) > 0.01
    %cas_req = req_pos.time(j);
    %j = j+1;
%end
```

```

%faz_posun = ((i-j)/1000)*frekvencia;

x = linspace (0, 10, 200);

faz_graf = [ 0.2815 0.482 1.035 1.478 1.78 1.998 2.2015 2.372 2.4615 2.58 2.7005 2.766
2.795 2.842 2.9175 2.9360 3.0685 3.102 3.192];
freq_graf = [ 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5];

zos_graf = [ -1.5423 -1.8612 -2.9542 -8.287 -14.3763 -17.7541 -22.8060 -26.7329 -
30.8226 -34.4694 -37.4923 -41.7535 -44.8943 -47.5801 -50.6610 -53.1148 -54.6936 -
57.9316 -59.0311];
freq_graf1 = [ 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5];

faz_graf_zap = faz_graf*(-1);

% Vykreslenie Bodeho grafu pomocou metódy najmenších štvorcov
figure

%subplot(2,1,1)
semilogx(freq_graf1,zos_graf,'r.')
title('Bodeho charakteristika - zosilnenie amplitúd')
xlim([0.1 9.5])
xlabel('frekvencia [rad/s]')
ylabel('zosilnenie [20log(K)]')
grid on
hold on

p2 = polyfit(freq_graf1,zos_graf,5);

%subplot(2,1,1)
y = polyval(p2,x);
ylim([-70 0])
plot (x,y,'r')

figure

%subplot(2,1,2)
semilogx(freq_graf,faz_graf_zap,'r.')
title('Bodeho charakteristika - fázové posuny')
ylim([-3.2 0])
xlim([0.1 9.5])
ylabel('fázový posun [rad]')
xlabel('frekvencia [rad/s]')
grid on

```

```

hold on

p1 = polyfit(freq_graf,faz_graf_zap,4);

%subplot(2,1,2)
y = polyval(p1,x);
ylim([-3.4 0])
plot (x,y,'r')

% Vykreslenie Bodeho grafu pomocou lineárnej interpolácie

%figure

%subplot(2,1,1)
%x = linspace (0,10,100);
%y = interp1(freq_graf,zos_graf,x,'spline');
%plot(freq_graf,zos_graf,'.',x,y)
%title('Bodeho charakteristika')
%xlabel('frekvencia [rad/s]')
%ylabel('zosilnenie [20log(K)]')
%grid on
%hold on

%subplot(2,1,2)
%y = interp1(freq_graf,faz_graf_zap,x,'spline');
%plot(freq_graf,faz_graf_zap,'.',x,y)
%ylim([-3.4 0])
%ylabel('fázový posun [rad/s]')
%xlabel('frekvencia [rad/s]')
%grid on
%hold on

```

Prepočet nameranej hodnoty regulačnej odchylky prototypu a vykreslenie grafu

```

figure
plot(t_R,(R(:,1)/103*2*pi),'. b')
title('Odozva prototypu na zmenu žiadanej polohy')
xlabel('čas [s]')
ylabel('poloha [rad]')
grid on
hold on

plot(t_R,(R(:,2)/103*2*pi),'. r')
hold on

```

