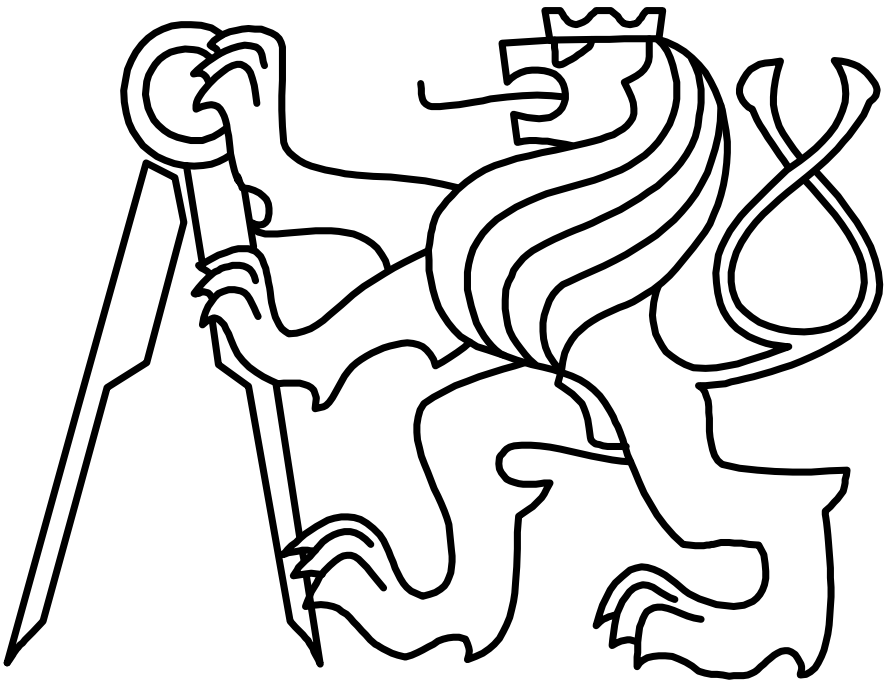
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Servomechanismus s proměnným magnetickým tlumením

Praha 2008 **Vypracoval: Adam Hořčica**

Prohlášení

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

V Praze dne …… ……

podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé práce Ing. Jindřichu Fukovi, bez jehož rad a pomoci by tato práce nemohla vzniknout. Rád bych také poděkoval panu Ladislavu Čmelíkovi za provedení mechanických úprav modelu. V neposlední řadě děkuji rodině za podporu po celou dobu studia.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá úpravou laboratorního modelu servomechanizmu s proměnným magnetickým tlumením, který je umístěn v laboratoři K23 katedry Řídicí techniky fakulty Elektrotechnické ČVUT v Praze. Cílem bylo dokončit úpravy modelu tak, aby mohl být kompletně vzdáleně řízen. Dále pak zajistit jeho současné připojení jak k PC pomocí karty Humusoft MF614, tak PAC CompactLogix firmy Rockwell Automation. Model byl doplněn o motor pro změnu úrovně magnetického tlumení a byla doplněna elektronika pro jeho ovládání a elektronika pro přepínání modelu mezi PC a PAC. Model byl kabelovým vedením připojen k PC a PAC. Součástí jsou připravené soubory pro ovládání z PC a PAC.

Anotation

This bachelor work deals with modifications of laboratory servomechanism model equipped with variable magnetic damping that is placed in the laboratory K23 of Department of Control Engineering from Faculty of Electrical Engineering, CTU in Prague. The goal was to adapt this model to be completely remote-controlled. Next step was to connect it simultaneously to PC by Humusoft MF614 card and to PAC CompactLogix Rockwell Automation. The model was supplemented with electronically controlled motor for exchange of magnetic damping level and electronics for PC/PAC switching. As a part of work were prepared files for model control from PC and PAC.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Adam Hořčica**

Studijní program: Elektrotechnika a informatika (bakalářský), strukturovaný
Obor: Kybernetika a měření

Název tématu: **Servomechanismus s proměnným magnetickým tlumením**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s programovatelným automatem CompactLogix firmy Rockwell Automation a servomechanismem s proměnným magnetickým tlumením IfA 122.
2. Připojte servomechanismu k tomuto programovatelnému automatu se současným přepínáním na řízení pomocí Matlabu.
3. Zajistěte dálkové ovládání nastavení tlumení.
4. Identifikací ověřte vlastnosti systému po provedených úpravách.
5. Zpracujte popis systému pro výuku a proveďte též jeho případnou vizualizaci.
6. Zpracujte vzorové programy pro řízení a na jejich základě vytvořte zadání vhodných úloh pro studenty.

Seznam odborné literatury:

stávající dokumentace k servomechanismu, bakalářská práce Alexandr Ciller 2007, firemní materiály

Vedoucí: Ing. Jindřich Fuka

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2008/2009

L.S.

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry

r.z. M. Demlová
doc. Ing. Boris Šimák, CSc.
děkan

V Praze dne 25. 2. 2008

Obsah

Seznam obrázků *vii*

Seznam tabulek *viii*

Úvod *1*

1 Popis servomechanizmu a PAC *2*

1.1 Servomechanismus s proměnným tlumením IfA-122 2

1.1.1 Vlastní model 2
1.1.2 Zdrojová jednotka se zesilovačem 3
1.1.3 Připojení k PC 4

1.2 Popis PAC CompactLogix 4

1.2.1 Koncepce 5
1.2.2 Procesor CompactLogix 5
1.2.3 Možnosti programování CompactLogix 6
1.2.4 Použitá konfigurace automatu 7

2 Rozbor řešení *8*

2.1 Úpravy magnetického tlumení 8

2.2 Přepínání modelu 8

3 Úpravy modelu *10*

3.1 Mechanické úpravy 10

3.2 Elektronika 13

3.2.1 Zesilovač motorku 13
3.2.2 Přepínání zdroje řízení 14
3.2.3 Zapojení potenciometrů 16
3.2.4 Napájecí zdroj 5V 18

3.3 Propojení jednotlivých částí 18

3.3.1 Propojení modulů 19
3.3.2 Konektor modelu 20
3.3.3 Konektory karty MF614 20
3.3.4 Konektor PLC 20

4 Ovládání modelu *21*

4.1 Ovládání modelu z prostředí Matlab Simulink 21

4.1.1 Úpravy modelu programu Matlab Simulink 21
4.2 Ovládání modelu z PAC CompactLogix 21
4.2.1 Konfigurace projektu 22

Závěr *23*

Citovaná literatura *25*

A Zapojení konektorů *I*

Seznam obrázků

Obr 1.1 Vlastné model servomechanizmu 2
Obr 1.2 Části modelu 3
Obr 1.3 Schéma zapojení potenciometrů 4
Obr 1.4 Ukázka automatu CompactLogix (s procesorem L4x) 5
Obr 1.5 Připojení modulů u L4x 6
Obr 3.1 Uspořádání bloku tlumení 10
Obr 3.2 Detail bloku tlumení 11
Obr 3.3 Schéma zapojení motorku tlumení 11
Obr 3.4 Schéma zapojení tahového potenciometru 12
Obr 3.5 Průběh napětí na potenciometru 12
Obr 3.6 Schéma zapojení koncového stupně zesilovače MD 14
Obr 3.7 Schéma zapojení přepínače 15
Obr 3.8 Schéma zapojení relé přepínače 16
Obr 3.9 Závislost výstupního napětí potenciometru na poloze jezdce 17
Obr 3.10 Zapojení zesilovačů pro potenciometry 17
Obr 3.11 Schéma zapojení stabilizátoru 5V 18
Obr 3.12 Propojení jednotlivých částí v přístrojové skříni 19
Obr 3.13 Pohled na zadní panel 19

Seznam tabulek

Tab 1.1 Seznam použitých modulů 7
Tab 4.1 Moduly PAC využité pro ovládání modelu 22
Tab A.0.1 Zapojení silového konektoru modulu zdroje I
Tab A.0.2 Zapojeni silového konektoru modulu zesilovače I
Tab A.0.3 Zapojení signálového konektoru zesilovače II
Tab A.0.4 Zapojení konektoru modelu III
Tab A.0.5 Zapojení konektoru X1 IV
Tab A.0.6 Zapojeni konektoru X2 IV
Tab A.0.7 Zapojeni konektoru PLC V

Úvod

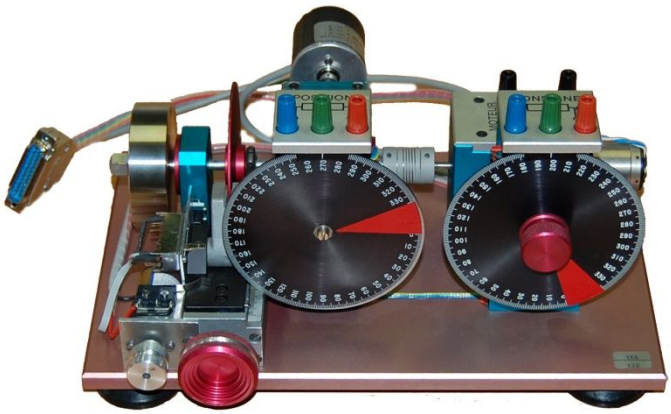
Cílem této bakalářské práce byla úprava laboratorního modelu servomechanizmu IfA-122 tak, aby bylo možné jeho celé řízení z PC prostřednictvím programu Matlab Simulink i průmyslovým automatem firmy Rockwell Automation CompactLogix. Tím by měla navázat na bakalářskou práci Alexandra Cillera. Během té byl původní model doplněn o inkrementální senzor polohy a byla provedena modernizace kabelového spojení modelu se zesilovačem a PC.

Během této práce je model doplněn o dálkové ovládání úrovně magnetického tlumení a o elektroniku pro připojení k PC i PAC. V první části jsou stručně popsány vlastní servomechanismus a použitý průmyslový řídicí automat PAC. Dále následuje rozbor úprav servomechanizmu a jeho podpůrné elektroniky. Jmenovitě se jedná o zajištění dálkového ovládání úrovně magnetického tlumení a jeho měření. K tomu se jako akční člen použije elektromotor a jako senzor posuvný potenciometr, pro ně je třeba zajistit vhodnou elektroniku. Je třeba navrhnout vhodný způsob automatického přepínání modelu mezi PC a PAC. Dále pak doplnit potenciometrické senzory polohy o zesilovače, aby mohly být zároveň připojeny k PC i PAC. Provedené úpravy jsou detailně popsány v další části. V poslední kapitole je popsáno ovládání modelu z PC pomocí programu Matlab Simulink a ovládání z PAC.

1 Popis servomechanizmu a PAC

1.1 Servomechanismus s proměnným tlumením IfA-122

Servomechanismus s proměnným magnetickým tlumením IfA-122 se skládá z 2 hlavních částí: *vlastního modelu serva* a *zdrojové jednotky se zesilovačem*.

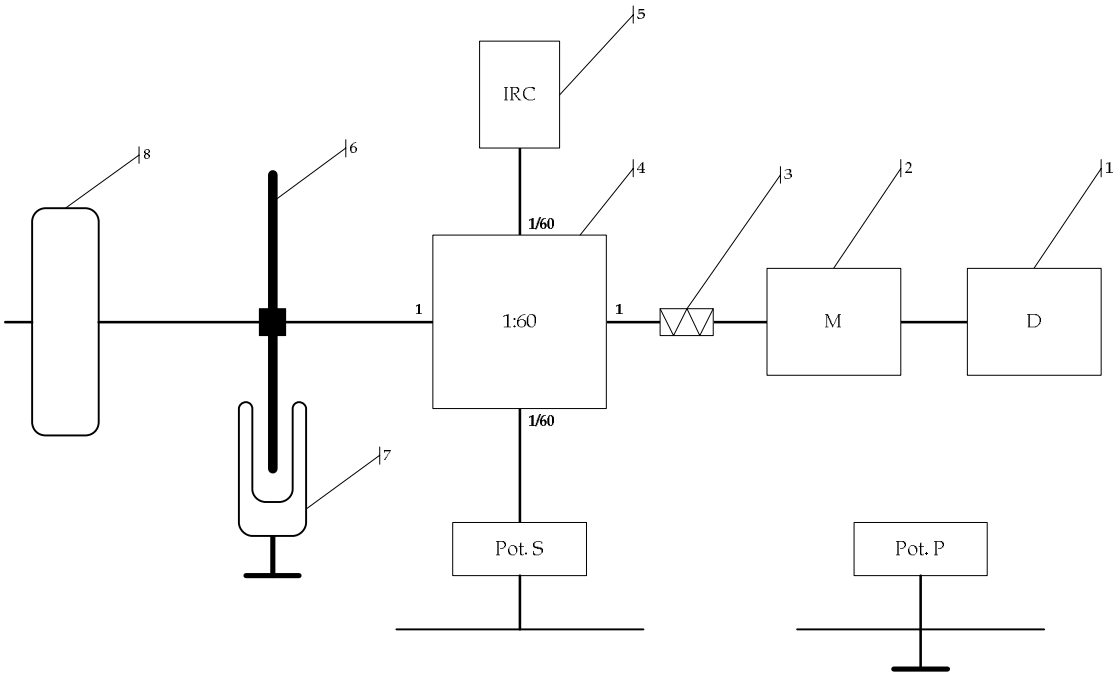


Obr 1.1 Vlastné model servomechanizmu

1.1.1 Vlastní model

Model servomechanizmu je umístěn na hliníkové podložce, na které jsou připevněny jednotlivé komponenty. Přibližné rozložení je patrné z obr 1.2.

Základem je stejnosměrný elektromotorek [2]. V jednom pouzdře s ním je zároveň tachodynamo [1], kterým lze měřit rychlost otáčení motorku. Motorek je pomocí pevné spojky [3] připojen k převodovce [4] s převodním poměrem 1:60. Na přímé hřídeli od motoru, která dále pokračuje z převodovky, jsou umístěny hliníkový disk magnetického tlumení [6] a výměnný kotouč setrvačníku [8]. Úroveň tlumení lze regulovat pohyblivým magnetem [7], který je upevněn na šnekový šroub. Otáčením šroubu se mění plocha překrytu magnetu a hliníkového disku. Tlumení je způsobeno vířivými proudy, které vznikají v hliníkovém disku.



Obr 1.2 Části modelu

Na pomalé hřídeli převodovky je umístěn potenciometr Pot. S se stupnicí, na které je možné odečíst úhel natočení. Na podložce je umístěn navíc druhý potenciometr Pot. P se stupnicí a knoflíkem, který slouží jako uživatelský vstup (předvolba). Oba potenciometry se mohou volně otáčet, nemají zarážku. V poloze 350 – 360° mají přerušenu odporovou dráhu. K převodovce je na pomalou hřídel připojen navíc kvadraturní inkrementální enkodér [5] (dále jen IRC[1]), viz BP práce Alexandra Cillera (1).

1.1.2 Zdrojová jednotka se zesilovačem

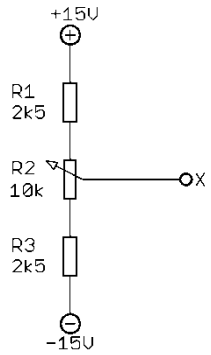
Veškerá elektronika potřebná pro fungování modelu je umístěna v modulární přístrojové skříni. Ta obsahuje 2 moduly: *stabilizovaný zdroj napětí* ±15 V/4 A a *zesilovač pro servomotor*. Na zadním panelu skříně jsou umístěny konektory pro připojení modelu, PC a připravený konektor pro připojení PLC.

Napětí ze stabilizovaného zdroje je využito jednak pro napájení zesilovače servomotoru a dále pak k napájení polohových potenciometrů.

Zapojení potenciometrů je patrné z obr 1.3. Zdroj modelu poskytuje napětí ±15 V. Výstup potenciometrů je ale třeba v podobě průmyslového standardu ±10 V. Proto jsou u po-

[1] z anglického Incremental Rotary enCoder

tenciometrů doplněny rezistory R1 a R3, které upravují výstupní napětí právě na hodnotu ±10 V.



Obr 1.3 Schéma zapojení potenciometrů

Servomotor je napájen ze zesilovače se zesílením 1. Ten funguje jako regulovatelný zdroj napětí ±10 V (2,5 A max.).

IRC vyžaduje napájecí napětí 5 V, které zdroj neposkytuje, proto je napájen přímo z V/V karty PC.

1.1.3 Připojení k PC

Model je řízen z běžného PC pomocí programu Matlab. Připojení zajišťuje multifunkční V/V karta MF614 firmy Humusoft (2). Karta obsahuje analogové i digitální vstupy a výstupy a zdroj napětí ±12 V/50 mA a +5 V/400 mA. Navíc umí přímo pracovat se signály s IRC.

Model využívá čtyři analogové vstupy (tachodynamo, oba potenciometry a napětí na motoru), jeden analogový výstup (vstup zesilovače pro motor) a jeden kanál IRC. Analogové vstupy i výstupy jsou konfigurovány na rozsah ±10 V.

1.2 Popis PAC CompactLogix

Kromě řízení modelu z PC by bylo výhodné řídit jej i z průmyslového řídicího automatu. Pro řízení tohoto modelu byl vybrán automat CompactLogix americké firmy Rockwell Automation (3).

Firma Rockwell Automation vyrábí celou řadu programovatelných automatů, které rozděluje do dvou hlavních skupin: PLC a PAC. PLC (Programmable Logic Controllers) jsou standardní prostředky průmyslové automatizace, které firma vyvíjí již více jak 30 let. Patří sem systémy PLC-5, SLC 500, Pico Controllers a MicroLogix. Druhá modernější skupina ur-

čená pro náročné aplikace je PAC (Programmable Automation Controllers). Do této skupiny patří automaty ControlLogix, SoftLogix, FlexLogix, DriveLogix a práve CompactLogix.

Obr 1.4 Ukázka automatu CompactLogix (s procesorem L4x)

Systém CompactLogix je určen pro středně náročné aplikace. Těmito aplikacemi jsou obvykle řídicí aplikace na strojové úrovni, s požadavky na vstupy a výstupy, síťovou konektivitu a řízení pohybu.

1.2.1 Koncepce

CompactLogix je řešen jako modulární systém. To znamená, že systém se skládá z jednotlivých modulů, které je možné dle potřeby zvolit tak, aby odpovídaly přesně požadavkům dané aplikace. Základním modulem je procesorová jednotka (CPU). K té se pak, pomocí interní sběrnice, připojují další moduly, jako jsou komunikační moduly (např. pro EtherNet/IP[2], ControlNet, apod.), V/V moduly a další.

1.2.2 Procesor CompactLogix

V současnosti existují 3 typy procesorů:

- 1769 – L2x,
- 1769 – L3x,
- 1768 – L4x.

Jak je patrné poslední jmenovaný procesor má jiné číslo řady (1768 místo 1769). Mimo navýšení výkonu u L4x došlo ke změně v oblasti připojení modulů. Vzhledem k tomu, že k řízení je použita konfigurace osazená procesorem 1768-L43, bude dále popisována hlavně série L4x.

Procesory L4x obsahuji jak interní sběrnici CompactBus, která je u L2x a L3x, tak nově i sběrnici ControlBus. Pomocí sběrnice CompactBus se připojují běžné analogové a digitální

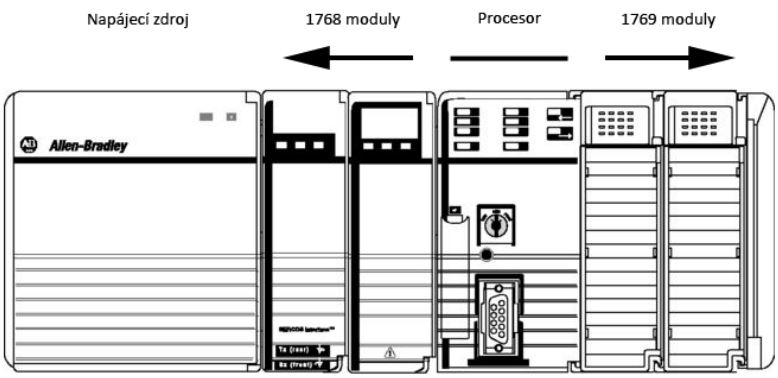
[2] Ethernet Industrial Protocol

V/V moduly označené jako Compact I/O (řada 1769). Sběrnice ControlBus pochází od nejvyššího člena rodiny automatů Logix – CompactLogix. Tuto sběrnice používají moduly řady 1768. Jedná se převážně o komunikační moduly (EtherNet/IP, DeviceNet, SERCOS atd.).

Starší procesory měli vestavené pouze vybrané komunikační porty v sobě (podle typu) a nebylo možné je rozšířit o další. L4x obsahuje přímo pouze RS-232 a ostatní komunikační porty se dle potřeby doplní odpovídajícím modulem.

Další změnou u L4x je podpora pro řízení polohy (motion controll) systémem Kinetix. Komunikační moduly pro systém Kinetix (komunikační rozhraní SERCOS) jsou také z řady 1768.

Protože konektory obou sběrnic jsou fyzicky rozdílné, je připojení modulů řešeno tak, že sběrnice ControlBus pro moduly 1769 je umístěna na pravé straně procesoru a CompactBus pro moduly 1768 na levé straně. Připojení modulu k procesoru je naznačeno na obr 1.5.



Obr 1.5 Připojení modulů u L4x

Hlavní vlastnosti L4x:

- až 16 úloh (1 nepřetržitá úloha), událostmi spouštěné úlohy,
- interní paměť 2MB (L43) s možností rozšíření pomocí paměťové karty CF,
- 1 port RS-232 (komunikace pomocí DF1 a ASCII).

1.2.3 Možnosti programování CompactLogix

CompactLogix je členem rodiny automatů Logix. Celá tato rodina automatů má společné vývojové nástroje. Hlavním centrem pro vývoj představuje program RSLogix 5000. Ten umožňuje pohodlný vývoj a konfiguraci automatu.

Podporovány jsou 4 programovací jazyky (2 textové, 2 grafické) které odpovídají normě IEC 61131-3:

- žebříčkový diagram (LR),
- strukturovaný text (ST),
- diagram funkčních bloků (FB),
- sekvenční diagram (SFC).

Mezi další programové vybavení patří programy *RSLinx*, *RSNetWorx* nebo např. *RSLogixEmulate 5000.*

1.2.4 Použitá konfigurace automatu

V tab 1.1 je uvedena konfigurace automatu, který se nalézá v laboratoři.

Tab 1.1 Seznam použitých modulů

Pozice	*Modul*	*Popis*
1	1768-ENBT	Modul pro komunikaci po EtherNet/IP
0	**1768-L43 CPU**	Procesor
1	1769-SDN	Modul pro komunikaci po DeviceNet
2	1769-HSC	Modul rychlého čítače
3	1769-IQ16	Modul 16 digitálních vstupů
4	1769-OB16	Modul 16 digitálních výstupů
5	1769-IF8	Modul 8 16bit. analogových vstupů
6	1769-OF8V	Modul 8 analogových výstupů
7	1769-IQ6XOW4	Modul 6 analogových vstupů a 4 relé. výstupů

2 Rozbor řešení

Stávající podoba modelu servomechanizmu IfA-122 umožňuje ovládat model pouze z osobního počítače. Navíc není možné vzdáleně ovládat celý model, ale pouze hlavní servomotor. Magnetické tlumení je možně přestavovat pouze ručním zásahem přímo do modelu. Je tedy třeba vyřešit 2 hlavní úkoly:

a) zajistit dálkové přestavení magnetického tlumení,
b) zajistit přepínání modelu buď k PC, nebo k PAC.

2.1 Úpravy magnetického tlumení

Jak je zmíněno v kapitole 1.1.1, tlumící element s magnety je posouván šnekovým šroubem. v rozsahu 2 cm. Pro celý rozsah je třeba 7 otáček šroubu. Vzhledem k nízkému počtu otáček je třeba zvolit motorek s převodovkou dopomala a ten mechanicky připojit na stavěcí šroub.

Aby nedošlo k mechanickému poškození v případě dosažení krajních poloh, je třeba doplnit koncové spínače. Ty zabrání pokračování pohybu za doraz, ale musí umožnit zpětný pohyb. Tzn. je třeba spínače doplnit o logiku, která toto zajistí.

Aby bylo možné motorek ovládat, je třeba doplnit elektroniku o vhodný zesilovač. V úvahu připadají 2 způsoby ovládání motorku. Je možné řídit jej analogovým signálem v rozsahu ±10 V jako je tomu u hlavního motoru, nebo je možné digitální ovládání (on/off a směr otáčení). Z výukových důvodů by bylo vhodné umožnit oba dva způsoby.

Pro zajištění přesné polohy je nutné použít některý z dostupných senzorů polohy.

2.2 Přepínání modelu

Model by bylo vhodné ovládat z 2 míst: PC a PAC. Za předpokladu že PC i PAC mají vstupy takových parametrů, aby neovlivnily výstupy modelu, je možné výstupy přímo připojit k PC i PAC bez toho, aby bylo nutné je přepínat. Pak stačí zajistit přepínání pouze vstupy akčních členů modelu. Tedy analogový vstup servomotoru a analogové a digitální vstupy motoru tlumení.

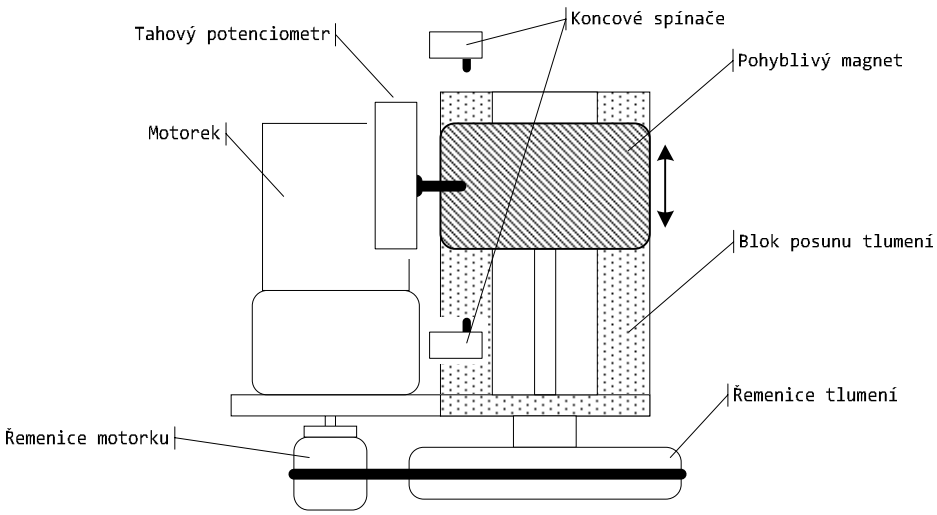
Přepínání by bylo vhodné řešit automaticky. V případě, že je zapnuté PC a je spuštěný program Matlab Simulink, který se využívá k řízení modelu z PC, a dojde ke spuštění simulace, bude řízení přiřazeno kartě MF614. V opačném případě bude řízení přiřazeno trvale PAC.

Jako nejjednodušší řešení se jeví využít některý z digitálních výstupů karty MF614. Aktivací tohoto výstupu pak dojde k přepnutí řízení PC. PC tím bude rozhodovat, co právě ovládá model.

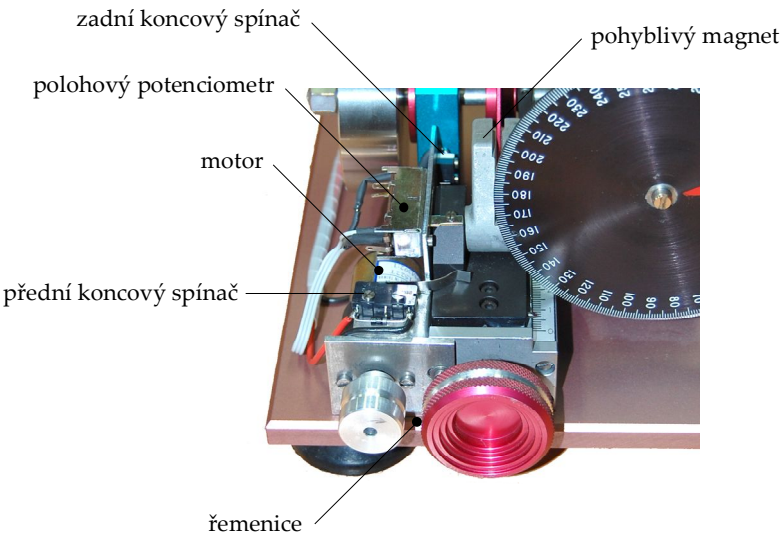
3 Úpravy modelu

3.1 Mechanické úpravy

V první řadě bylo třeba vyřešit připevnění motorku pro nastavení tlumení. Byl zvolen modelářský motorek s převodovkou GHM-09 firmy Lynxmotion (4). Jedná se o malý stejnosměrný motorek 12 V, 31 ot./min (bez zátěže) s převodovkou 392:1. Motorek je připevněn po straně bloku magnetického tlumení. S vlastním šroubem tlumení je spojen řemenicí s převodním poměrem 0,5. Jedná se o poměrně jednoduché řešení z hlediska mechanické náročnosti. Přibližné uspořádání vzniklé konstrukce je vidět na obr 3.1.

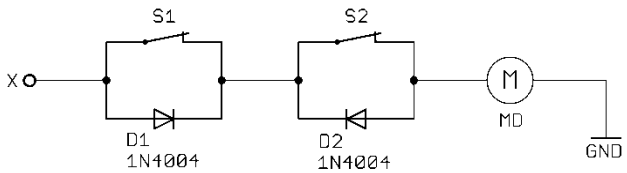


Obr 3.1 Uspořádání bloku tlumení



Obr 3.2 Detail bloku tlumení

Pojezd tlumení je vybaven koncovými spínači pro zastavení motorku v případě dosažení krajních poloh. Zastavení motorku zajišťuje jednoduchá diodová logika, která je připevněna přímo na spínačích. Její zapojení je na obr 3.3.

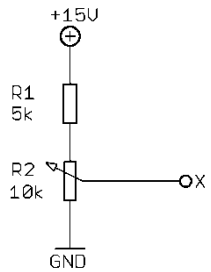


Obr 3.3 Schéma zapojení motorku tlumení

V případě dosažení krajní polohy dojde k rozpojení spínače S1 popř. S2 a tím zařazení diody D1 popř. D2 do obvodu. Motorek se pak může otáčet pouze v opačném směru a tím nemůže dojít k mechanickému poškození modelu. Vzhledem k napájecímu napětí motorku až 12 V nehraje úbytek na diodách velkou roli, nehledě na fakt, že diody jsou do obvodu zařazeny pouze v krajních polohách.

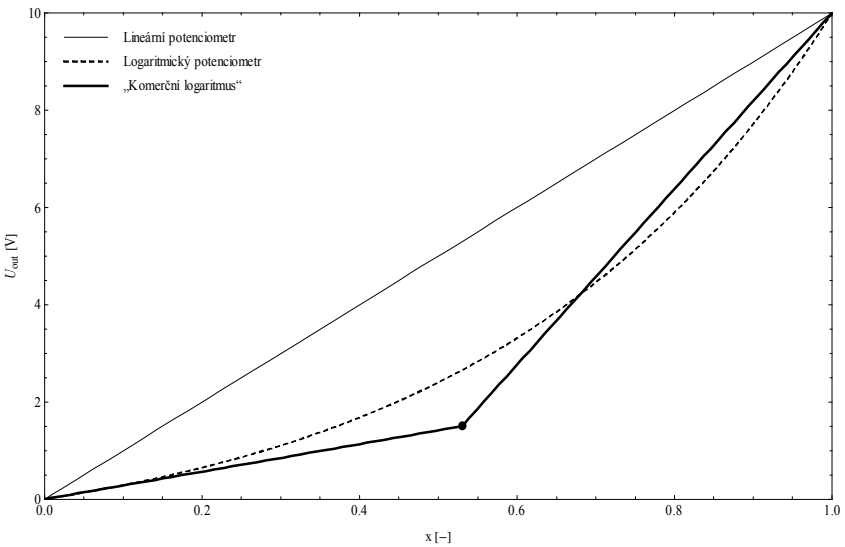
Pro výukové účely by bylo vhodné doplnit model ještě druhým párem koncových spínačů (někdy nazývané SW spínače), které by byly umístěny tak, aby spínaly dříve než vlastní koncové spínače (HW spínače). Ty by pak byly využity v řídicím programu a zajišťovaly by programové zastavení motorku. Pokud by bylo toto bezpečnostní opatření v programu špatně implementováno, došlo by k fyzickému odpojení motorku HW spínači. Z rozměrových důvodů by bylo ale umístění těchto SW-spínačů velmi komplikované.

Nad motorkem je k bloku tlumení připevněn tahový potenciometr pro měření polohy pohyblivého magnetu tlumení. Jedná se o potenciometr se jmenovitou hodnotou 10 kΩ. Je zapojen tak, aby na výstupu poskytoval napětí 0 až 10 V, což odpovídá poloze 0 až 2 cm. Rezistor R1 je realizován paralelním spojením 2 rezistorů 5,6 kΩ a 47 kΩ. Pro větší proudové zatížení je potenciometr doplněn o zesilovač popsaný v kapitole 3.2.3.



Obr 3.4 Schéma zapojení tahového potenciometru

Bohužel se nejedná o lineární potenciometr, který nebyl v požadovaných rozměrech dostupný, ale potenciometr logaritmický. Odpor potažmo výstupní napětí tedy není přímo úměrný poloze běžce potenciometru. Jak se ukázalo, průběh odporové dráhy běžných log. potenciometrů, neodpovídá matematické funkci logaritmus. Jedná se o tzv. „komerční logaritmus“, což je lomená po částech lineární funkce. Průběh výstupního napětí je vidět na obr 3.5. Tato nedokonalost logaritmických potenciometrů zde představuje výhodu, protože je možné poměrně snadno přepočítat napětí na skutečnou polohu tlumení.



Obr 3.5 Průběh napětí na potenciometru

Z praktického hlediska by bylo lepší použít některý ze standardních průmyslových senzorů polohy, např. LVDT. Z rozměrových důvodů to ale nebylo možné.

3.2 Elektronika

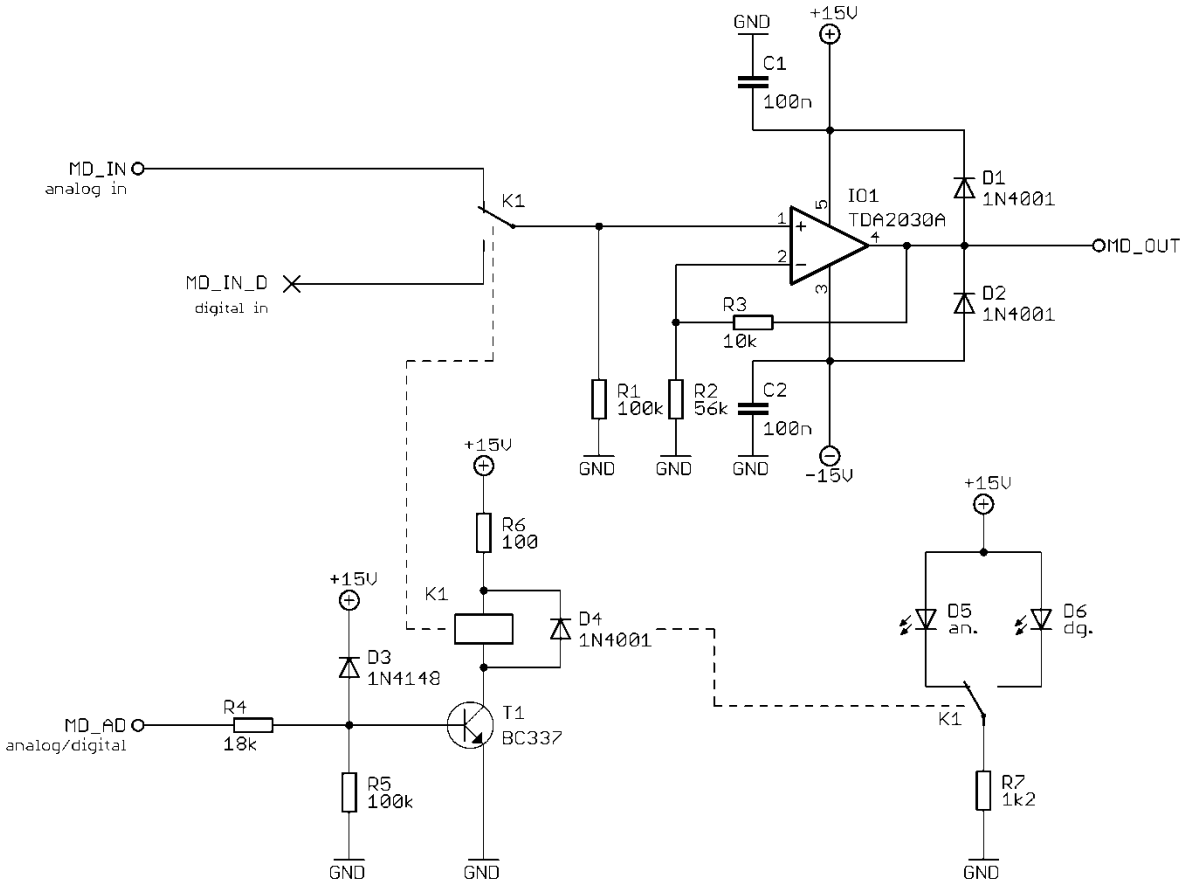
3.2.1 Zesilovač motorku

Při návrhu budicích obvodů pro motorek se předpokládalo jak analogové řízení napětím ±10 V, tak digitální řízení. Proto je koncový stupeň vybaven přepínáním zdroje signálu.

Zapojení koncového stupně zesilovače je na obr 3.6. Jako silový prvek je použit výkonový operační zesilovač TDA2030 (IO1). Ten je zapojen jako neinvertující zesilovač se zesílením 1,2. Zajišťuje zesílení vstupního napětí ±10 V na požadovaných ±12 V pro motorek. Vzhledem k indukčnímu charakteru zátěže je výstup doplněn ochrannými diodami D1 a D2. Vstupní odpor zesilovače je dán rezistorem R1, který zajišťuje klidové napětí na vstupu v případě odpojení zesilovače. Vstup je přepínán přes kontakt relé K1 buď na analogový vstup, nebo k výstupu elektroniky pro digitální řízení.

Relé K1 je spínáno přes tranzistor T1 z logického vstupu pro výběr režimu řízení (analogový/digitální). Jako výchozí poloha je voleno analogové řízení. K cívce relé je paralelně zapojena ochranná dioda D4. Cívka relé je dimenzována na napájecí napětí 12V, proto je před cívku zařazen předřadný odpor R6. Vstup je vytvořen tak, aby bylo možné relé ovládat jak TTL signálem z karty MF614, tak signálem z digitálního modulu PAC (0 V/24 V).

Druhý přepínací kontakt je využit pro indikační LED, které jsou umístěny na panelu zesilovací jednotky.



Obr 3.6 Schéma zapojení koncového stupně zesilovače MD

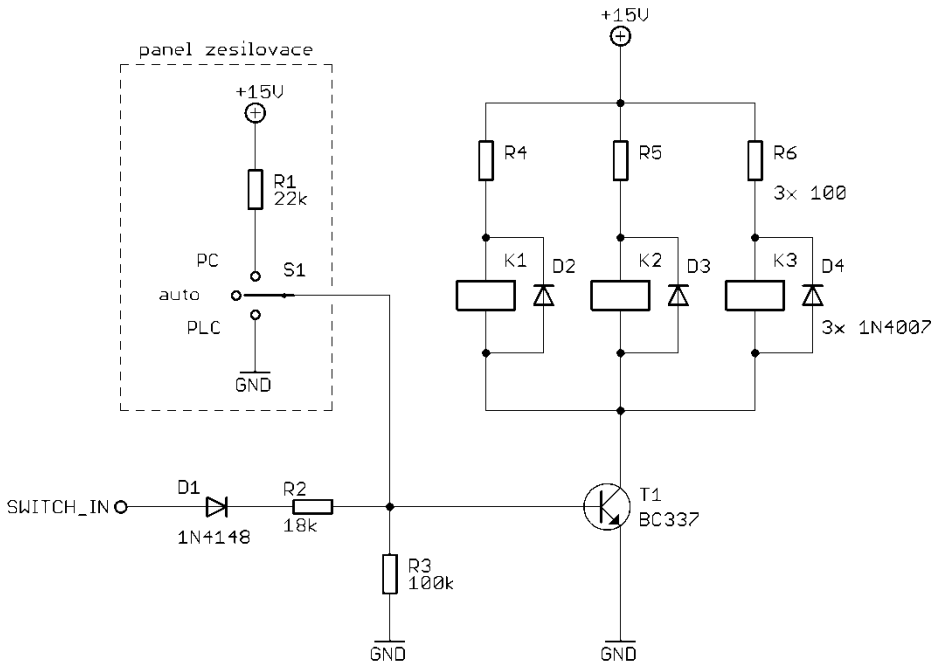
Jak je vidět, v zapojení se počítá s elektronikou pro digitální řízení. Ta by z dvou logických vstupu (on/off a směr) generovala vstupní napětí –10, 0 a +10 V pro koncový zesilovač. Ukázalo se ale, že vzhledem k vysokému převodnímu poměru je převodovka motorku velmi choulostivá k okamžité reverzaci směru otáčení i ke skokovému rozjezdu. V takovém případě dochází k velkému opotřebení převodovky a hrozí její poškození (vylomení zubů apod.). Případná logika by musela tedy ošetřit okamžitou změnu směru a zajišťovat plynulý rozjezd motorku. Toto se svým charakterem blíží samotnému analogovému řízení, proto bylo od realizace digitálního řízení nakonec upuštěno, ačkoli koncový stupeň zesilovače i přepínač (popsaný dále) s ní počítá.

3.2.2 Přepínání zdroje řízení

Přepínání řídicích signálů zajišťuje trojice relé. Běžně dostupná relé obsahují jeden pár přepínacích kontaktů. Pro ovládání motorů je třeba celkem 5 vodičů, z toho vyplývá, že je třeba použít 3 relé.

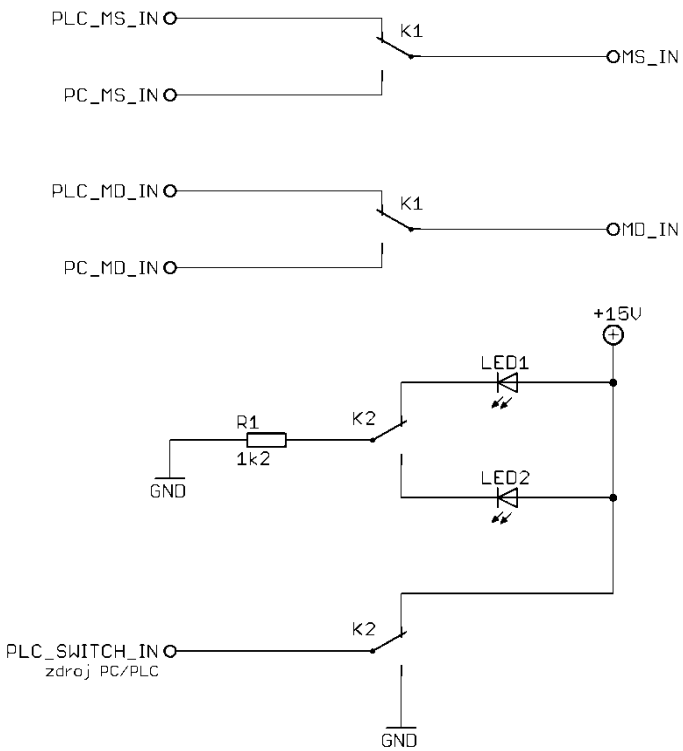
Relé je ovládáno jednoduchou transistorovou logikou, viz schéma zapojení obr 3.7. Relé ovládá jeden logický výstup karty MF614, připojený na SWITCH_IN. Pokud se na tomto vstupu objeví logická 1, dojde k sepnutí relé a k přepnutí řízení k PC, jinak je řízení trvale předáno PLC. O aktivaci se pak stará patřičný model v programu Matlab Simulink. Na panelu zdrojové jednotky je navíc doplněn třípolohový přepínač S1, kterým je možné napevno zvolit PC, PLC, nebo automatickou volbu. To je možné využít například v případě, že chceme použít starší model programu Matlab Simulink, který nepočítá s logickým vstupem.

Jednotlivá relé jsou doplněna ochrannými diodami a předřadnými rezistory obdobně jako relé u koncového zesilovače (viz 3.2.1). Logické výstupy karty MF614 jsou typu TTL. V případě, že je na přepínači S1 napevno zvolen režim PAC, objeví se na tomto výstupu až 15 V, což by mohlo způsobit jeho poškození, proto je vstup doplněn o diodu D1, která tomu zabrání.



Obr 3.7 Schéma zapojení přepínače

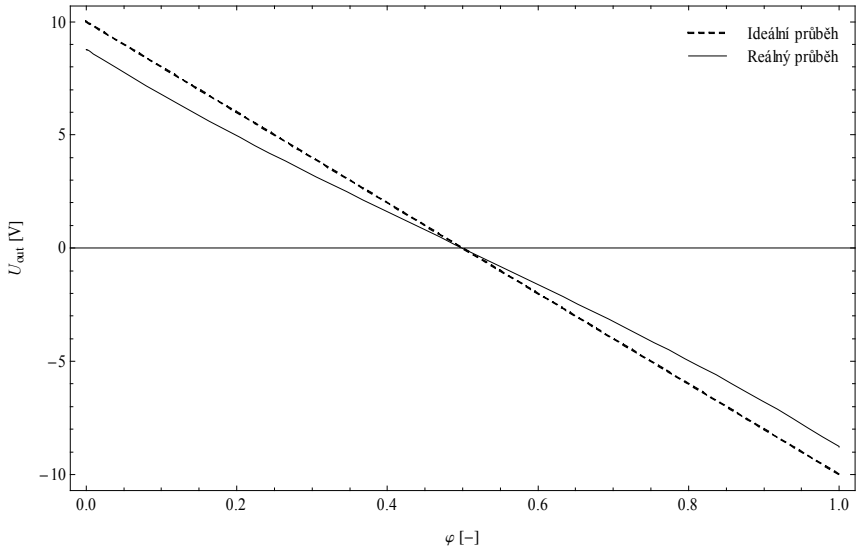
Přepínací kontakty relé jsou použity pro přepínání vstupu zesilovače pro servomotor a pro motor tlumení. Dále pak pro přepínání indikačních LED na panelu zesilovače a jako informace o zdroji řízení pro PAC. Třetí relé určené pro přepínání digitálního řízení motoru tlumení zůstalo nevyužito.



Obr 3.8 Schéma zapojení relé přepínače

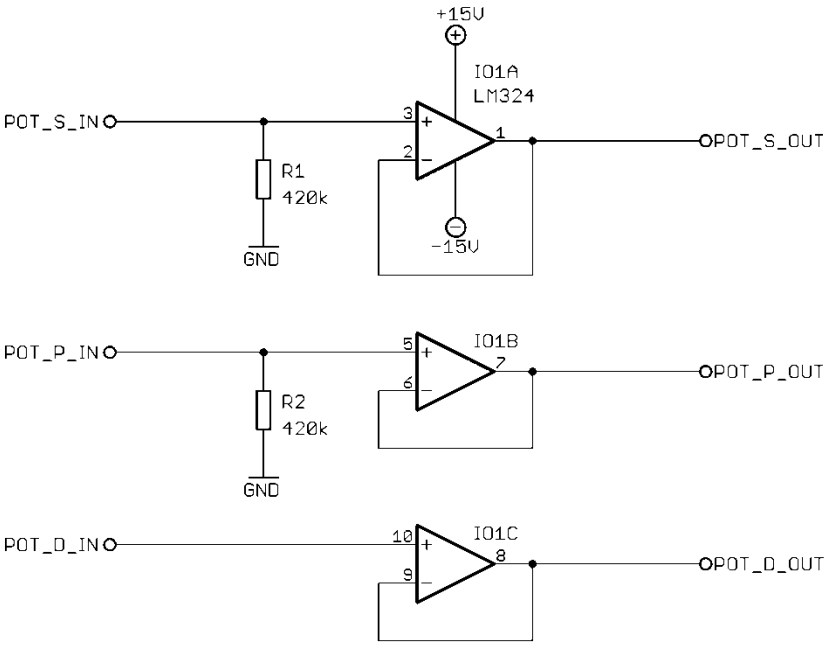
3.2.3 Zapojení potenciometrů

Použité potenciometry mají jmenovitou hodnotu 10 kΩ. Vstupní odpor analogových vstupů karty MF614 má typicky 20 kΩ. Pokud bude zapojen zároveň i PAC, kde uvádí výrobce vstupní odpor modulu 1768-IF8 200 kΩ, dostáváme se na zátěž potenciometrů 18 kΩ. Situaci navíc zhoršují předřadné rezistory (viz obr 1.3). Závislost takového zatíženého odporového děliče na poloze běžce je vidět na obr 3.9. V krajních polohách jezdce je již chyba způsobená zátěží vyšší než 10 %.



Obr 3.9 Závislost výstupního napětí potenciometru na poloze jezdce

Z toho důvodu jsou potenciometry doplněny operačními zesilovači zapojenými dle obr 3.10. Je zde použit integrovaný obvod LM324, který v jednom pouzdře obsahuje 4 operační zesilovače, 3 jsou využity. Každý je zapojen jako neinvertující zesilovač se zesílením 1 (tzv. sledovač). U zesilovačů pro potenciometr vlastního serva a předvolby jsou navíc doplněny rezistory R1 a R2. Tyto potenciometry mají totiž přerušenu dráhu a při přejezdu jezdce přes „mrtvé pásmo“ se mohou dostat výstupy OZ do saturace, což není přípustný stav. Rezistory R1 a R2 pak v tomto případě definují nulové výstupní napětí.

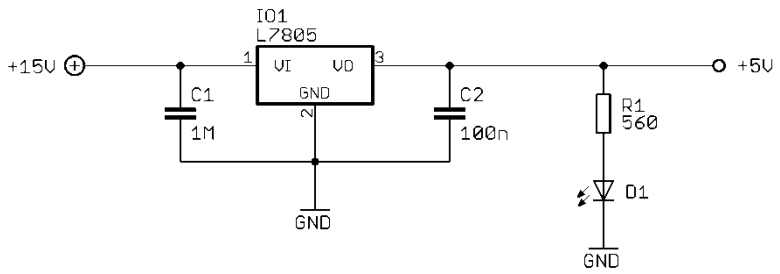


Obr 3.10 Zapojení zesilovačů pro potenciometry

3.2.4 Napájecí zdroj 5V

IRC pro svoji funkci vyžaduje napájecí napětí 5 V. V původním zapojení byl IRC napájen přímo z karty MF614. Při řízení z PAC by bez zapnutého PC IRC nefungoval. Z toho důvodu byla doplněna zdrojová jednotka o zdroj 5 V.

Schéma zapojení je na obr 3.11. Je použit běžný lineární integrovaný stabilizátor napětí L7805, který je zapojen dle doporučení v (5). Navíc je doplněna LED D1, která plní jak indikační funkci, tak funkci minimální zátěže stabilizátoru. IO1 je umístěn na Al chladiči. Zdroj s chladičem je dimenzován na max. odběr 400 mA, což odpovídá možnostem zdroje karty MF614.

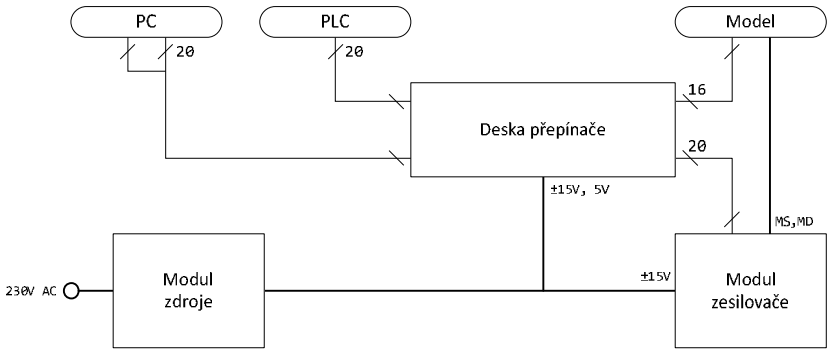


Obr 3.11 Schéma zapojení stabilizátoru 5V

Chladič je přes isolační destičku připevněn k boční straně zdrojového modulu. Napájení je vedeno přímo z bloku stabilizátoru +15 V před ampérmetrem. Ampérmetry na panelu tak ukazují pouze odběry motorů.

3.3 Propojení jednotlivých částí

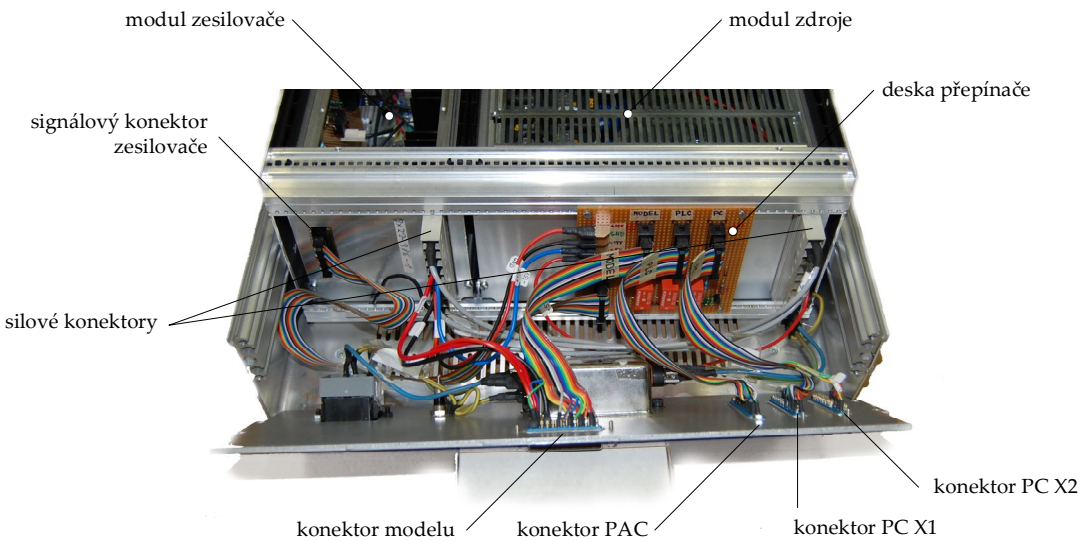
Elektronika popsaná výše je umístěna v přístrojové skříni. Lze ji rozdělit na 3 hlavní části: *modul zdroje*, *modul zesilovače* a *deska přepínače*, která je umístěna u zadního panelu skříně. Propojení jednotlivých částí s konektory na zadním panelu je patrné z obr 3.12. Jednotlivé části jsou propojeny buď plochými 16 nebo 20pinovými vodiči nebo samostatnými licnamy (silnější čára).



Obr 3.12 Propojení jednotlivých částí v přístrojové skříni

Propojení provedené během (1) bylo kompletně odstraněno a nahrazeno novými vodiči. Nové zapojení je řešeno více univerzálně. Veškeré vodiče jsou vybaveny konektory, takže je možné celou konstrukci jednoduše rozebrat pro provedení případných úprav.

Deska přepínače plní funkci jakéhosi centrálního bodu, do kterého jsou vedeny vodiče z ostatních částí. Zapojení jednotlivých částí je popsáno dále.



Obr 3.13 Pohled na zadní panel

3.3.1 Propojení modulů

Silové vodiče (rozvod napájení a výstupy zesilovačů pro motory) jsou vedeny silnějšími dráty. Je ponecháno původní propojení modulů (napájení zesilovače ±15 V ze zdroje) přes konektory FASTON. Pro další nezbytné silové vodiče (+5 V, motory) jsou využity volné piny u původních konektorů. Zapojení těchto konektorů je uvedeno v Tab A.0.1 a Tab A.0.2. Změny oproti původnímu propojení jsou naznačeny *kurzívou*.

Kromě silového konektoru je modul zesilovače vybaven 20pinovým signálovým konektorem. Jeho zapojení je uvedeno v Tab A.0.3.

3.3.2 Konektor modelu

Vlastní model servomechanizmu je připojen 25pinovým konektorem CANN umístěným na zadní straně panelu. Jeho zapojení je uvedeno v Tab A.0.4. Zapojení pinů interního konektoru modelu je uvedeno v posledním sloupci tabulky.

Silové vodiče (MD, MS a GND) jsou vedeny vždy na 2 pinech konektoru. Z pinů MD a MS, na které jsou přivedeny výstupy zesilovačů pro motory, jsou odváděny signály pro měření napětí na motorcích (piny 15 a 16 interního konektoru).

3.3.3 Konektory karty MF614

Karta MF614 je připojena přes dva 37pinové CANON konektory značenými jako X1 a X2. Konektor X1 obsahuje analogové a základní digitální vstupy a výstupy. Konektor X2 pak vstupy pro IRC. Jejich zapojení je tabulkách Tab A.0.5 a Tab A.0.6. V tabulkách jsou uvedeny i názvy V/V kanálu dle značení MF614 (2).

3.3.4 Konektor PLC

PLC se připojuje 37pinovým konektorem CANON. Jeho zapojení je uvedeno v Tab A.0.7. V posledním sloupci tabulky jsou uvedeny názvy modulu PAC, ke kterým jsou jednotlivé piny připojeny.

U modulu 1768-IF8 je třeba spojit vstupy V/I in – u každého použitého kanálu s GND. U modulu 1768-HSC je třeba spojit + piny jednotlivých kanálů a připojit je k +5 V vodiči. Vlastní signálové vodiče se pak připojují k – kanálům.

Pin 15 se připojuje na digitální vstupy modulu 1769-IQ6XOW4 (společně s GND, pin 11). Tento signál slouží jako informace o zdroji řízení. V případě, že je model přiřazen k PLC, je zde vysoká úroveň (+15 V). V případě přiřazeni k PC nebo v případě vypnutí zdroje je zde nízká úroveň.

4 Ovládání modelu

4.1 Ovládání modelu z prostředí Matlab Simulink

Připojení ke kartě MF614 je řešeno tak, aby bylo pinově kompatibilní s původním zapojením. Je třeba ale upravit modely pro program Matlab Simulink pro podporu automatického přepnutí ovládání. A dále aby bylo možné ovládat motor tlumení a měřit polohu tlumení.

K ovládání samotného servomechanizmu je možné bez problémů použít starší model, je ale třeba ručně přepnout ovládání na režim PC přepínačem na panelu zdrojové jednotky.

4.1.1 Úpravy modelu programu Matlab Simulink

Přepnutí ovládání zajistí nastavení úrovně 1 na kanál 1 logických výstupu. Výstup pro motor tlumení je na kanálu 2 analogových výstupu. Kontrolní napětí na motoru tlumení je přivedeno na kanál 5 analogových vstupů a poloha tlumení na kanál 6. Pro správné měření polohy tlumení je navíc třeba přepočítat napětí na pseudologaritmickém potenciometru podle jeho lomené charakteristiky. K tomu lze s výhodou použít blok *Lookup Table* programu Matlab Simulink.

Poznámka 1.: Popsaná čísla kanálu odpovídají číslování v prostředí Matlab Simulink, tedy kanál 1 má index 1. Značení pinů na vlastní kartě dle (2) začíná indexem 0.

Poznámka 2.: Podle priority signálů je lepší nejprve uvádět polohu tlumení a poté až napětí na motoru tlumení, které není tak důležité. Připojení je myšleno tak, aby napětí od obou motorků byla vedena vedle sebe. Prohození těchto signálů pro model je řešeno v konfiguraci výstupní části karty.

Upravené modely pro program Matlab Simulink jsou na přiloženém CD.

4.2 Ovládání modelu z PAC CompactLogix

Moduly automatu CompactLogix nezbytné k ovládání modelu jsou uvedeny v tab 4.1. Jsou využity celkem čtyři moduly. Zapojení jednotlivých kanálů je uvedeno v Tab A.0.7.

Tab 4.1 Moduly PAC využité pro ovládání modelu

Pozice	*Modul*	*Funkce*
2	1769-HSC	Vstup – IRC
5	1769-IF8	Vstup – pot., dynamo a napětí na motorech.
6	1769-OF8V	Výstup – motory.
7	1769-IQ6XOW4	Vstup – informace o zdroji řízení

4.2.1 Konfigurace projektu

Konfigurace modulu 1769-IF8, 1769-OF8V a 1769-IQ6XOW4 neobnáší žádné komplikace. Je třeba pamatovat na správné zadání pozice modulu (*Slot*). Pozice se počítají směrem od CPU, přičemž první modul má pozici 1.

Modul čítače 1769-HSC je koncipován velmi univerzálně a z toho také plynou vyšší nároky na jeho konfiguraci. Je využit pouze vstupní kanál 0. Při zadávání parametru (*Module Properties*) ponecháme výchozí parametry, pouze změníme následující položky: na kartě *Counter Configuration* klikneme na *Counter 0* a změníme *Operation Mode* na *Encoder X1*. Je možné zvolit i *Encoder X2* nebo *X4*, to záleží na požadované přesnosti (viz (6)). Pokud požadujeme přesné určení úhlu natočení, je třeba aktivovat v sekci *Storage Mode* položku *Preset on Rising Z*. Tím dojde při přejezdu přes úhel 0 ° k vynulování čítače. Ostatní můžeme nechat bez změny. Ve výchozím stavu je nakonfigurován i čítač č. 2, ten není využit, není ale nutné se jím při konfiguraci zabývat.

Před prvním použití čítače je třeba jej aktivovat nastavením bitu *Local:2:O.Ctr0En*. Což je Enable Bit čítače 0.

Aktuální hodnota čítače je pak umístěna na adrese *Local:2:I.Ctr0CurentCount*. Další zajímavou hodnotou může být *Local:2:I.Ctr0PulseInterval*, kde se nalézá časový interval mezi posledními dvěma impulzy. To lze využít např. pro měření rychlosti.

Připravený nakonfigurovaný projekt je na přiloženém CD.

Závěr

Tato bakalářská práce navázala na již provedené úpravy laboratorního modelu IfA-122 provedené v minulých letech Alexandrem Cillerem a dokončit tak úpravy modelu nezbytné pro jeho kompletní vzdálené ovládání. A zároveň zajistit jeho připojení k PC a k průmyslovému automatu.

Na modelu byly provedeny mechanické úpravy, které zajistily dálkové ovládání úrovně magnetického tlumení. Byl doplněn motorek pro posuv magnetu, posuvný potenciometr pro měření polohy tlumení a bezpečnostní koncové spínače. Z rozměrových důvodů nebylo možné doplnit druhý pár provozních spínačů krajních poloh. Zvolený motor se ukázal jako ne zcela ideální. Především jeho převodovka je již samosvorná, takže není možné ruční ovládání úrovně tlumení, což může být při některých základních laboratorních pracích na modelu bráno jako nevýhoda. Zejména z důvodu poměrně pomalého nastavení úrovně tlumení. Při případné náhradě motorku by bylo vhodné volit převodovku s menším převodním poměrem. V takových případech je ale možné sundat gumový řemen. Převodovka motoru není dostatečně robustní pro nešetrné zacházení. Při návrhu řízení je třeba na to pamatovat a nevystavovat ji zbytečně prudkým rozjezdům a náhlým změnám směru otáčení. Jistou komplikaci také představuje nelineární průběh polohového potenciometru. Lze ji ale poměrně snadno matematicky přepočítat na skutečnou polohu tlumení. Popsané komplikace nejsou zcela ideální pro laboratorní model, na druhou stranu posouvají jeho vlastnosti blíže reálným podmínkám. Fyzikální vlastnosti vlastního servomechanizmu zůstaly po provedených úpravách bez změny.

Podpůrná elektronika modelu byla přestavěna tak, aby bylo možné současné zapojení PC i automatu PLC. Přepínání mezi PC a PLC se děje automaticky na povel PC. Zároveň je možné napevno zvolit jeden režim. Baly doplněny zesilovač pro motor tlumení a zesilovače pro posílení proudového zatížení měřicích potenciometrů. Model byl připojen jak k PC tak PLC a ovládání z obou zdrojů funguje korektně dle požadavků.

V budoucnu může být práce na modelu zaměřena hlavně na řízení modelu z PLC. Model je plně připojen k PLC. Proto může být pozornost zaměřena hlavně na programovou část. Může být doplněna vizualizace modelu, která nebyla z časových důvodů realizována

během této práce. Dále může být realizování distribuované řízení modelu nebo jeho vzdálené řízení z prostředí internetu. Tyto úkoly mohou být zadána například jako semestrální práce v některém z odborných předmětů vyučovaných v laboratoři K23.

Citovaná literatura

1. **Ciller, Alexandr.** Servomechanismus s porměnným tlumením. *Bakalářská práce.* Praha : ČVUT, FEL, Katedra řídicí techniky, 2007.

2. **Humusoft.** *MF614 Multifunction I/O card - User's Manual.* Praha : Humusoft, 2002.

3. **Rockwell Automation, Inc.** PAC CompactLogix System. [Online] 2008. http://www.ab.com/programmablecontrol/pac/compactlogix/.

4. **Lynxmotion, Inc.** GHM-09 Data sheet. [Online] 2008. http://www.lynxmotion.com/images/data/ghm09.pdf.

5. **STMicroelectronics.** *L7800 Series.* Geneva : STMicroelectronics, 2004.

6. **Rockwell Automation.** *Compact™ High Speed Counter Module – User Manual.* Milwaukee : Rockwell Automation, 2002. 1769-UM006A-EN-P.

7. **Belza, Jaroslav.** *Operační zesilovače pro obyčejné smrtelníky.* Praha : BEN – technická literatura, 2004. 80-7300-115-2.

A Zapojení konektorů

Tab A.0.1 Zapojení silového konektoru modulu zdroje

pin	*funkce*	*poznámka*
1	+15 V	Pro modul zesilovače
2	GND	Pro modul zesilovače
3	– 15 V	Pro modul zesilovače
4	*+ 5 V*	*Pro desku přepínače*
…		
9	230 V AC	
10		
11	⏚	

Tab A.0.2 Zapojeni silového konektoru modulu zesilovače

pin	*funkce*	*poznámka*
1	–15 V	Od zdroje
2	*–15 V*	*Pro desku přepínače*
3	*MS out*	*Výstup zesilovače motoru serva*
4	*MD out*	*Výstup zesilovače motoru tlumeni*
5	*GND*	*GND pro motory*
6	GND	Od zdroje
7	*GND*	*Pro desku přepínače*
8		
9	*+15 V*	*Pro desku přepínače*
10	+15 V	Od zdroje
11	⏚	

Tab A.0.3 Zapojení signálového konektoru zesilovače

pin	*funkce*	*poznámka*
1	LED PC	Indikační LED řízení z PC
2	LED PLC	Indikační LED řízení z PLC
3	Switch	Přepínač zdroje řízení
4	+5 V	
5	GND	
…		
7	MD in	Vstup do zesilovače motoru tlumení
…		
14	MS in	Vstup do zesilovače motoru serva
15	Pot. S out	Vstup zesilovače potenciometru polohy serva
16	Pot. S in	Výstup zesilovače potenciometru polohy serva
17	Pot. P out	Vstup zesilovače potenciometru předvolby
18	Pot. P in	Výstup zesilovače potenciometru předvolby
19	Pot. D out	Vstup potenciometru polohy tlumení
20	Pot. D in	Výstup potenciometru polohy tlumení

Tab A.0.4 Zapojení konektoru modelu

pin	*funkce*	*poznámka*	*interní*
1	–15 V	–15 V pro potenciometry	1
2	Pot. S		2
3	Pot. P		3
4	+15 V	+15 V pro potenciometry	4
5	Tacho. –	GND	5
6	Tacho. +		6
7	*Pot. D*		*7*
…			
11	*MD*	*Motor tlumení*	***ext.***
12			*15*
…			
14	IRC GND	GND	9
15	IRC +	+5V	10
16	IRCA		11
17	IRCB		12
18	IRCZ		13
19	IRC stínění	–nc–	14
…			
22	GND	GND pro motory	**ext.**
23			
24	MS	Motor serva	**ext.**
25			16

Tab A.0.5 Zapojení konektoru X1

pin	*název*	*poznámka*	*interní*
1	AD0	Pot. S	1
2	AD1	Pot. P	2
3	AD2	Dynamo	3
4	AD3	MS out	4
5	*AD4*	*MD out*	*5*
6	*AD5*	*Pot. D*	*6*
…			
9	AGND	GND	7
…			
20	DA0	MS in	8
21	*DA1*	*MD in*	*9*
22	AGND	GND	10
…			
29	*GND*	*GND*	*11*
30	*DOUT0*	*Výběr PC/PLC*	*12*
31	*DOUT1*	*–nc–*	*13*
32	*DOUT2*	*–nc–*	*14*
33	*DOUT3*	*–nc–*	*15*

Tab A.0.6 Zapojeni konektoru X2

pin	*název*	*poznámka*	*interní*
1	IRC0A+	IRCA	17
2	IRC0A–	–nc–	
3	IRC0B+	IRCB	18
4	IRC0B–	–nc–	
5	IRC0I+	IRCZ	19
6	IRC0I–	–nc–	
…			
28	*+5 V*	*–nc–*	
29	GND	GND	20

Tab A.0.7 Zapojeni konektoru PLC

pin	*název*	*poznámka*	*interní*	*modul*
1	Vin+ 6	Pot. S	1	1769 IF8
2	Vin+ 4	Pot. P	2	
3	Vin+ 7	TD (dynamo)	3	
4	Vin+ 3	MS_out	4	
5	Vin+ 2	MD_out	5	
6	Vin+ 5	Pot. D	6	
7	GND	GND	7	
8	Vout 7	MS_in	8	1769 OF8V
9	Vout 6	MD_in	9	
10	GND	GND	10	
11	GND	GND	11	1769 IQ6XOW4
…				
15	IN 5	Zdroj řízení PC/PLC (informativní)	15	
…				
20	IRC +	+5 V	16	1769 HSC
21	IRCA –	IRCA	17	
22	IRCB –	IRCB	18	
23	IRCZ –	IRCZ	19	
24		–nc– (GND)	20	