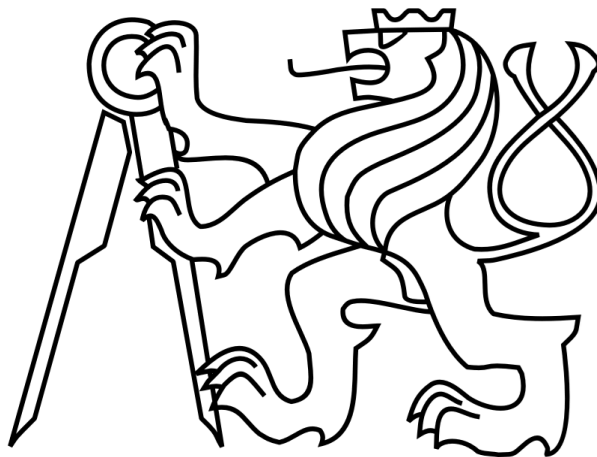


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Bakalářská práce

Řízení lineárního hydromotoru
proporcionálním redukčním ventilem

2021

Aleš JIRÁNEK

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Jiránek** Jméno: **Aleš** Osobní číslo: **473432**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Řízení lineárního hydromotoru proporcionálním redukčním ventilem

Název bakalářské práce anglicky:

Control of a linear hydraulic motor by proportional reduction valve

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: V rámci práce bude vytvořen simulační model hydraulického přímočarého motoru s proporcionálním redukčním ventilem. Model bude obsahovat řídicí algoritmus pro regulaci polohy motoru a dílčí simulované závěry budou ověřeny na experimentálním zařízení; Osnova práce: Rešerše řízení hydromotoru, seznámení s funkcí redukčního ventilu a jeho proporcionální varianty, rešerše nástrojů tvorby simulačních modelů, tvorba modelu mechanismu ve zvolené variantě simulačního nástroje, ověření dílčích závěrů simulace na reálném zařízení; Rozsah grafické části: 0; Rozsah textové části: 40-60 stran;

Seznam doporučené literatury:

[1] NOSKIEVIČ, Petr. Control of Linear Hydraulic Actuator using the full Hydraulic Bridge. In: 2018 19th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM). IEEE, 2018. p. 52-57; [2] ŠKOPÁN, Miroslav. Hydraulické pohony strojů. Studijní text–syllabus. Brno: Ústav dopravní techniky, VUT Brno, listopad, 2004; [3] NOSKIEVIČ, Petr. Modelování a identifikace systémů. 1999.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Štěpán Fiala, Ph.D., ústav výrobních strojů a zařízení FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25.07.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

Ing. Štěpán Fiala, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 24.7.2021

.....
podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Štěpánu Fialovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce. Rád bych také poděkoval své rodině, která mi byla oporou po celou dobu studia.

Anotace

Autor:	Aleš Jiránek
Název BP:	Řízení lineárního hydromotoru proporcionálním redukčním ventilem
Rozsah práce:	60 str., 39 obr., 1 tab., 8 graf.
Školní rok vyhotovení:	2021
Škola:	ČVUT v Praze
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí BP:	Ing. Štěpán Fiala, Ph.D.
Zadavatel:	ČVUT – FS
Využití:	Řízení polohy přímočarého hydromotoru s využitím třícestného proporcionálního redukčního ventilu.
Klíčová slova:	hydraulický obvod, třícestný proporcionální redukční ventil, lineární hydromotor, dopředné řízení, zpětnovazební řízení, zpětná vazba, Matlab, Simscape, simulační schéma
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá vytvořením simulačního modelu hydraulického přímočarého motoru s proporcionálním redukčním ventilem. V programu Matlab jsou odsimulována jednotlivá schémata, a to model dopředného řízení a model řízení se zpětnou vazbou. Model se zpětnou vazbou obsahuje řídicí algoritmus pro regulaci polohy. Dílčí závěry ze simulací jsou ověřeny na experimentálním zařízení.

Annotation

Author:	Aleš Jiránek
Title of bachelor dissertation:	Control of a linear hydraulic motor by proportional reduction valve
Extent:	60 p., 39 fig., 1 tab., 8 graf.
Academic year:	2021
Univerzity:	CTU in Prague, Fakulta of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 – Department of Production Machine
Supervisor:	Ing. Štěpán Fiala, Ph.D.
Submitter of the Theme:	CTU – Fakulta of Mechanical Engineering
Application:	Position controls of a linear hydraulic motor using a proportional reduction valve.
Key words:	hydraulic circuit, three-way proportional pressure reducing valve, linear hydraulic motor, forward controls, feedback controls, feedback, Matlab, Simscape, simulation scheme
Annotation:	The bachelor's thesis deals with the creation of a simulation model of a hydraulic linear motor with a proportional reduction valve. In the Matlab program, individual diagrams are simulated, namely the forward control model and the feedback control model. The feedback model contains a control algorithm for position control. Partial conclusions from the simulations are verified on experimental equipment.



Obsah

Seznam termínů a zkratk	10
Použité symboly	12
1 Úvod a cíl práce	14
2 Řízení lineárního hydromotoru plným hydraulickým můstkem	15
2.1 Plný hydraulický můstek	15
2.2 Půlmůstek.....	17
2.3 Použití plného hydraulického můstku	17
2.4 Shrnutí a podobnost s třícestným proporcionálním redukčním ventilem (TPRV)	18
3 Třícestný (proporcionální) redukční ventil	19
3.1 Třícestný redukční ventil.....	19
3.2 Třícestný proporcionální redukční ventil	21
4 Způsoby tvorby simulačních modelů	24
4.1 Způsoby modelování	24
4.1.1 Blokové schéma.....	24
4.1.2 Stavové schéma	25
4.1.3 Signální schéma	26
4.2 Programy pro vytváření signálních schémat.....	27
4.2.1 Amesim Siemens	27
4.2.2 SimulationX.....	28
4.2.3 Simscape Matlab Toolbox.....	28
4.2.4 Výběr simulačního programu pro následný model	30
5 Tvorba modelu servomechanismu	31
5.1 Servomechanismus s ideálním zdrojem tlaku	31



5.1.1	Dopředné řízení	32
5.1.2	Zpětnovazební řízení	33
5.2	Servomechanismus s reálnými parametry ventilu	36
5.2.1	Reálný člen (třícestný proporcionální redukční ventil).....	36
5.2.2	Aplikace reálného členu do servomechanismu	38
5.3	Zhodnocení simulační části	42
6	Ověření na reálném obvodu.....	43
6.1	Hydraulický obvod pro dopředné řízení	44
6.2	Hydraulický obvod pro zpětnovazební řízení	47
7	Závěr.....	51
	Seznam použité literatury.....	53
	Seznam použitého softwaru	56
	Seznam obrázků	57
	Seznam tabulek a grafů	59
	Seznam příloh	60



Seznam termínů a zkratk

A	výstupní větev
AK	akumulátor
ARGO HYTOS	ARGO – HYTOS s.r.o.
b	řídící signál
bar	jednotka tlaku
DIN	označení konektoru
EL7-I	řídící jednotka
FESTO	FESTO SE & Co. KG
HG	hydrogenerátor
JV	jednosměrný ventil
L	odpadní větev
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
LHM	lineární hydromotor
LMS Amesim	software pro simulace fyzikálních systémů a technických zařízení
m	jednotka délky
Matlab	matematický program firmy The MathWorks, Inc
mm	jednotka délky
Motion Terminal Festo	označení ventilu
N	jednotka síly
NI MYRIO 1900	označení řídicí ústředny
P	tlaková větev
P1, P2, P3	manometr
PID	regulátor



PVRM3-103	označení ventilu
R1, R2, R3, R4	odpor (proporcionální ventil)
ŘÚ	řídící ústředna
s	jednotka času
SHARP	označení senzoru polohy
Simscape	toolbox Simulinku
SimulationX	software pro simulace fyzikálních systémů a technických zařízení
SP	senzor polohy
ŠV	škrťací ventil
T	nízkotlaká větev
TPRV	třicestný proporcionální redukční ventil

Použité symboly

Veličina	Jednotka	Význam
Aš	m ²	plocha šoupátka
B	l/min	průtokové zesílení
D	m	průměr pístu
d	m	průměr pístnice
D _s	m	průměr šoupátka
F	N	zátěžná síla na pístnici
F _p	N	síla pružiny
H	m	zdvih hydromotoru
I	A	proud
K	různé	zesílení soustavy
K _{FA}	N	silové zesílení
K _{PA}	bar	tlakové zesílení
K _{QA}	l/min	průtokové zesílení
K _{VA}	m·s ⁻¹	rychlostní zesílení
m	m	šířka pístu
p	bar	tlak
p _A , p ₁	bar	tlak v komoře A
p _B , p ₂	bar	tlak v komoře B
p _C	bar	výstupní tlak z ventilu
p _P	bar	vstupní tlak do ventilu
p _S	bar	systemový tlak
Q	l/min	objemový průtok
Q _A , Q ₁	l/min	průtok do komory A



Q_B, Q_2	l/min	průtok do komory B
Q_S	l/min	objemový průtok z hydrogenerátoru
s	-	komplexní proměná
S1, S2	m^2	plocha pístu
T	s	časová konstanta
U	V	napětí
u(t)	různé	vstupní veličina
V_{01}, V_{02}	m^3	mrtví objem
v_1, v_2	$m \cdot s^{-1}$	rychlost hydromotoru
x	m	poloha šoupátka
\dot{x}_{hm}	$m \cdot s^{-1}$	rychlost hydromotoru
x_{SV}	m	poloha šoupátka servoventilu
x_{SV0}	m	krytí šoupátka servoventilu
y	m	poloha pístu
y(t)	různé	výstupní veličina
Δp	bar	diference tlaku

1 Úvod a cíl práce

Tématem bakalářské práce je řízení lineárního hydromotoru třícestným proporcionálním redukčním ventilem. Tato myšlenka, řízení lineárního hydromotoru, vzešla z práce prof. Noskiewiče. Ten se zabýval nezávislým řízením vstupu do lineárního hydromotoru a výstupu z lineárního hydromotoru pomocí plného můstku. Úkolem bakalářské práce je ověření myšlenky použití třícestného proporcionálního redukčního ventilu, namísto plného můstku. Tento předpoklad by měl vést ke snížení počtu potřebných prvků v hydraulickém obvodu.

Předmětem bakalářské práce bude podrobné studium funkčnosti a konstrukčního uspořádání třícestného proporcionálního redukčního ventilu. Následně bude implementován v hydraulickém systému pro řízení lineárního hydromotoru. Pro hydraulický systém bude nutné vytvořit odpovídající schéma ve vhodném simulačním nástroji. Schéma bude tvořeno odpovídajícími bloky prvků použitého grafického editoru s doplněním potřebných parametrů. K tomu budou použity parametry hydraulických prvků konkrétních výrobců. Nakonec bude provedeno ověření simulačního schématu v laboratoři na příslušném hydraulickém modelu. Na základě laboratorních výsledků bude možné potvrdit, či vyvrátit hypotézu řízení přímočarého hydromotoru pomocí třícestného proporcionálního redukčního ventilu.



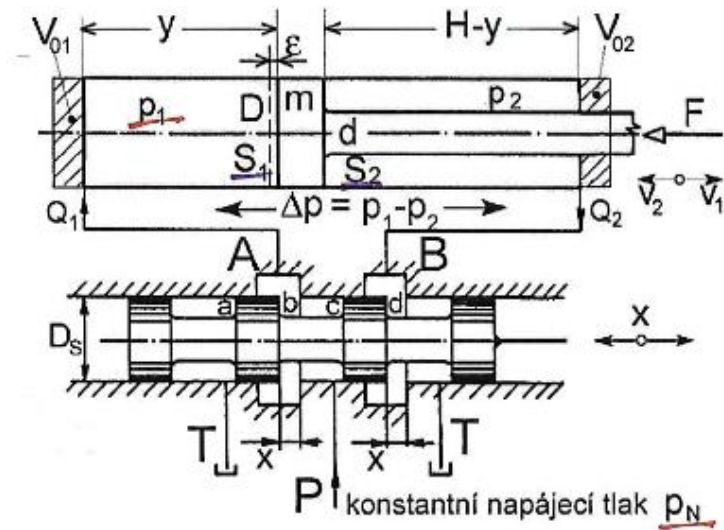
2 Řízení lineárního hydromotoru plným hydraulickým můstkem

Lineární hydraulické pohony jsou v dnešní době často využívány u zařízení jako: výrobní stroje, technologické zařízení, roboty či manipulátory. To vše je možné díky jejich vysokému poměru výkonu, hmotnosti a schopností manipulovat s velkými hmotami. Dále lineární hydraulické pohony umožňují vytvářet síly velmi malými rychlostmi. V mnoha případech, je u lineárních hydraulických pohonů vyžadováno, aby plnily oba úkoly: pohyb s hmotností a vytváření vysoké síly nebo dosažení dané polohy s vysokou přesností na konci trajektorie. Mechanismus může být také doplněn o kontrolu síly. [1]

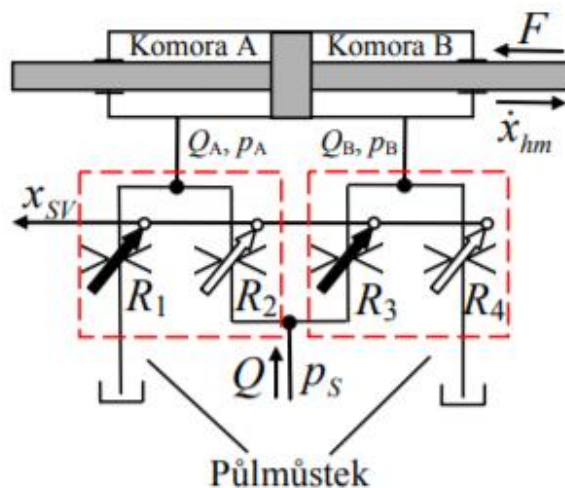
Řešením této problematiky se zabýval prof. Noskievič. Ten přišel s řešením, ve kterém použil metodou řízení pomocí plného hydraulického můstku. Tato metoda umožňuje nezávisle řídit vstupy a výstupy do lineárního hydromotoru (tzv. nezávislé řízení čtyř hran). [1]

2.1 Plný hydraulický můstek

Čtyřcestný třípolohový proporcionální ventil vyobrazený na (Obr. 1) řídí pohyb hydromotoru. Toho je docíleno pomocí pohybu šoupátka, které vytvoří mezi sebou a tělesem ventilu mezeru o délce x (Obr. 1). Hodnota x se mění závisle na poloze šoupátka. Při porovnání (Obr. 1) a (Obr. 2) lze konstatovat, že 4 hrany ($R1 \approx a$, $R2 \approx b$, $R3 \approx c$, $R4 \approx d$) čtyřcestného třípolohového proporcionálního ventilu lze nahradit plným hydraulickým můstkem.



Obr. 1 - Čtyřcestný proporcionální ventil [4]

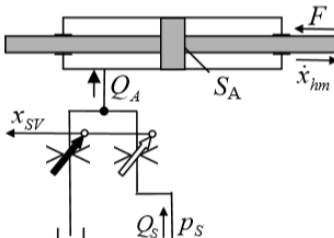


Obr. 2 - Plný můstek [5]

Pohyb hydromotoru je realizován pomocí čtyř proporcionálních ventilů, a zároveň tímto způsobem lze řídit všechny 4 hrany nezávisle. Ventily představují čtyři proměnné hydraulické odpory, které jsou samostatně ovládány čtyřmi řídicími signály. Tyto čtyři proporcionální ventily jsou rozděleny na dva páry ventilů, čímž vznikla dvojice tzv. půlmůstků. Zapojení dvou půlmůstků do plného můstku je ilustrováno na (Obr. 2).

2.2 Půlmůstek

Půlmůstky jsou děleny podle zapojení na několik typů [5], v této práci bude uvažován typ A. Zapojení půlmůstku typu A je ilustrováno na (Obr. 3).

ZAPOJENÍ	CHARAKTERISTICKÁ VELIČINA
	$K_{Q_A} = \partial Q_A / \partial x_{SV} = B(\sqrt{p_S - p_A} + \sqrt{p_A}) \Big _{p_A=p_S/2, x_{SV}=0} = B \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{p_S}$ $K_{v_A} = \partial v_A / \partial x_{SV} \Big _{p_A=p_S/2, x_{SV}=0} = \sqrt{2} \cdot \frac{B}{S_A} \cdot \sqrt{p_S}$ $K_{p_A} = \partial p_A / \partial x_{SV} \Big _{Q_A=v_A=0, x_{SV}=0} = p_S / x_{SV0}$ $K_{F_A} = \partial F_A / \partial x_{SV} \Big _{Q_A=v_A=0, x_{SV}=0} = \frac{p_S \cdot S_A}{x_{SV0}}$

Obr. 3 - Půlmůstek a charakteristické veličiny [5]

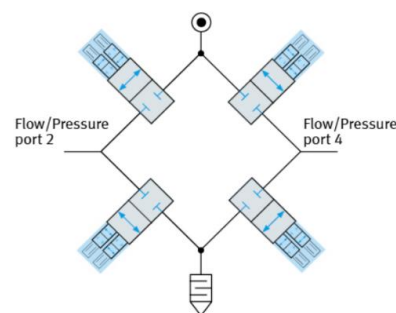
Na (Obr. 3) jsou dále znázorněny vlastnosti půlmůstku, charakterizované stacionárními charakteristickými veličinami. Popsané vzorce jsou upraveny pro komoru A. Veškerá odvozená zesílení půlmůstku jsou vyjádřena bez uvažování průtokových ztrát, tření, stlačitelnosti kapalin a za předpokladu negativního krytí. [5]

2.3 Použití plného hydraulického můstku

Metoda plného můstku našla zatím jen využití v odvětví pneumatiky. Jejím distributorem je firma FESTO, která plný můstek použila do ventilu s označením Motion Terminal Festo (Obr. 4). Uspořádání plného můstku ve ventilu Motion Terminal Festo je znázorněno na (Obr. 5). [6]



Obr. 4 - Ventil Motion Terminal Festo [6]

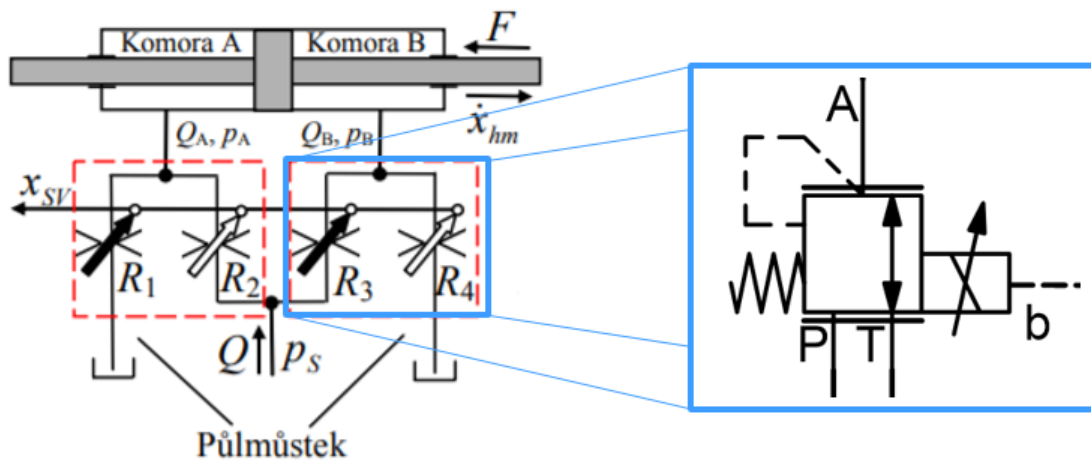


Obr. 5 - Schéma můstku vně ventilu [6]

Tento jediný samostatný ventil by měl nahradit více jak 50 samostatných výrobků. Mezi tyto výrobky řadíme škrťací ventily, nejrůznější rozvaděče, proporcionální redukční a průtokové ventily. [6]

2.4 Shrnutí a podobnost s třístředným proporcionálním redukčním ventilem (TPRV)

Výhodou plného můstku je možnost nezávislého řízení vstupu i výstupu do hydromotoru. K tomuto procesu je potřeba čtyř proporcionálních ventilů a čtyř ovládacích signálů. Nevýhodou tohoto zapojení je použití velkého množství potřebných komponentů.



Obr. 6 - Náhrada půlmůstku za třístředný proporcionální redukční ventil [5]

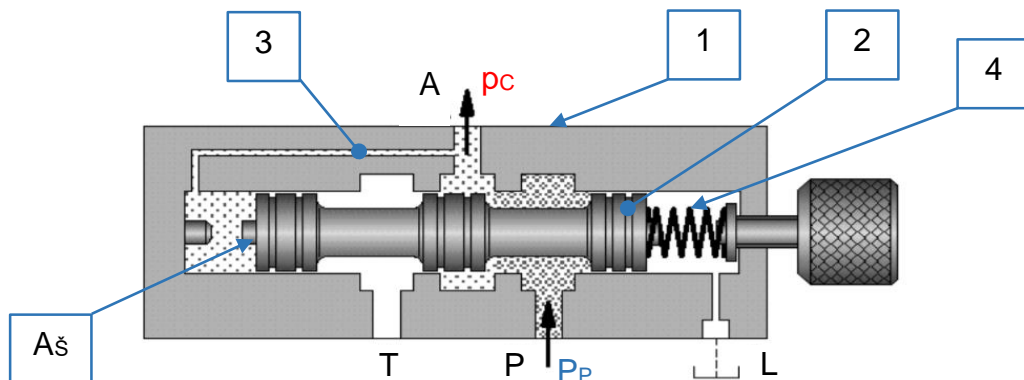
Jednou z možností, jak snížit množství komponentů, je pohlížet na půlmůstek jako na třístředný proporcionální redukční ventil. Náhrada je vyobrazena na (Obr. 6), počet komponent se zredukuje na dva třístředné proporcionální redukční ventily a dva řídicí signály. Ventil R2 a R3 je nahrazen propojením cesty P-A. Ventil R1 a R4 se nahradí propojením cesty A-T.

3 Třícestný (proporcionální) redukční ventil

Kapitola pojednává o třícestném (proporcionálním) redukčním ventilu, konstrukčním uspořádání, funkci a možnostech řízení.

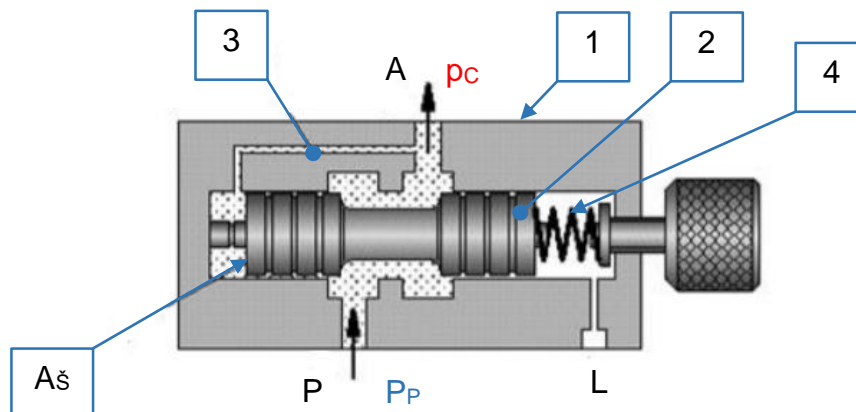
3.1 Třícestný redukční ventil

Třícestný redukční ventil, stejně jako dvoucestný redukční ventil, slouží k redukování výstupního (sekundárního) tlaku na konstantní hodnotu. Při tom nezáleží na vstupním (primárním) tlaku, který je do systému dodáván. Musí být splněna pouze podmínka, že vstupní tlak je vyšší než tlak výstupní. Redukční ventil je v hydraulickém systému umístěn do série k jiným hydraulickým prvkům. Na (Obr. 7) je ilustrována funkce třícestného redukčního ventilu, který je v základní poloze otevřený. Otevřeného stavu je docíleno přesunutím řídicího prvku šoupátka (2) v tělese ventilu (1) regulační pružinou (4) do základní polohy. Kapalina o tlaku p_P proudí směrem z P do A a o tlaku p_C dál do systému. Z výstupu A je veden kanál (3), kterým je tlak přiváděn do místa pod šoupátkem (2). Tento tlak působí na plochu šoupátka A_s , vytváří sílu a ta přes šoupátko stlačuje pružinu o přednastavené síle F_p . Při překonání síly pružiny (4) F_p tlakovou silou se začne šoupátko (2) zavírat. To má za následek zmenšování škrtkové mezery do doby, než dojde k vyrovnání výstupního tlaku p_C a tím k silové rovnováze na šoupátku. V případě, že tlak ještě naroste, šoupátko (2) uzavře průchod z P do A. To umožní otevření průchodu z A do T a kapalina začne proudit do odpadu. Na přívodu P je stále stejný tlak. Klesání tlaku p_C umožní pružině (4) vrátit šoupátko (2) do základní polohy. Otevře se opět průchod z P do A a kapalina proudí dále do systému. Velikost tlaku p_P nemusí být konstantní, ale musí splňovat základní podmínku, že musí být vždy větší než tlak p_C . [2, 7]



Obr. 7 - Konstrukce třicestného redukčního ventilu [8]

(1 – těleso ventilu, 2 – šoupátko, 3 – řídicí kanál, 4 – regulační pružina,
P – tlaková větev, A – výstupní větev, T – nízkotlaká větev (nádrž), L – odpadní větev,
 A_k – činná plocha šoupátka, p_E – vstupní tlak, p_C – výstupní tlak)



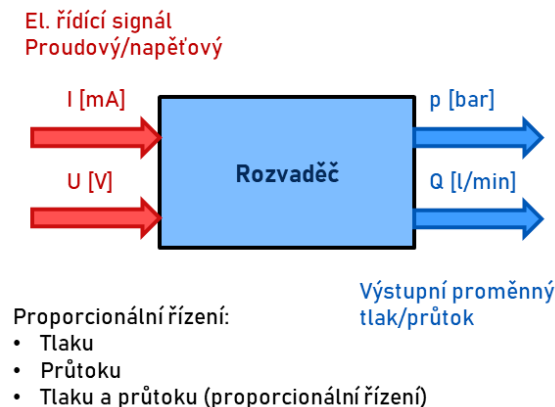
Obr. 8 - Konstrukce dvoucestného redukčního ventilu [8]

(1 – těleso ventilu, 2 – šoupátko, 3 – řídicí kanál, 4 – regulační pružina,
P – tlaková větev, A – výstupní větev, L – odpadní větev,
 A_k – činná plocha šoupátka, p_E – vstupní tlak, p_C – výstupní tlak)

Na (Obr. 7) a (Obr. 8) je ukázáno, jak se od sebe konstrukčně liší dvoucestný a třicestný redukční ventil.

3.2 Třícestný proporcionální redukční ventil

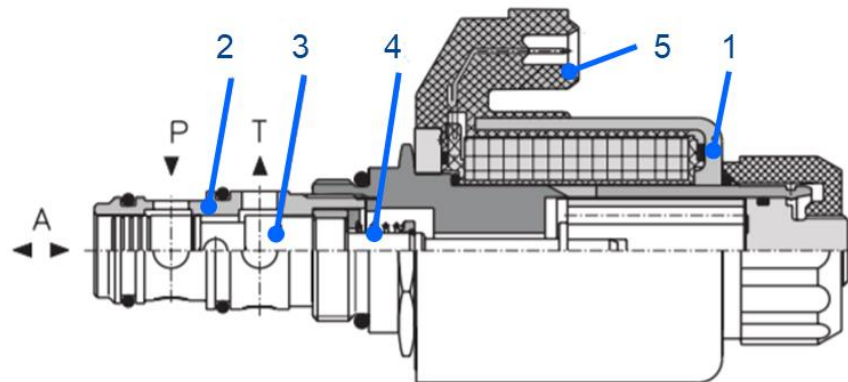
Proporcionální rozvaděče řídí spojitě tlak a průtok kapaliny pomocí přiváděného elektrického signálu malého výkonu, což je zobrazeno na (Obr. 9). Současně také plní funkci změny směru průtoku kapaliny. Proporcionální technika slučuje dobré vlastnosti moderní elektroniky s moderní hydraulikou za dostupnou cenu. Při srovnání se servoventily nemusí být nároky na úpravu (čistotu) kapaliny nebo na provoz a údržbu tak vysoké. Zjednodušená představa proporcionálního rozvaděče je znázorněna na (Obr. 9).



Obr. 9 - Zjednodušená představa proporcionálního rozvaděče [9]

Třícestný proporcionální redukční ventil přímo řízený (Obr. 10) je ovládán stejně jako proporcionální rozvaděč. Řízení je prováděno proporcionálně elektromagnetem. Ventil je v základní poloze nastaven tak, že je propojena cesta z kanálu A do kanálu T, přes který je kapalina odváděna zpět do nádrže. Kanál P je uzavřený a do cívky (1) neproudí žádný proud. V této poloze šoupátka je redukován tlak v kanálu A nulový. S nárůstem budícího proudu přiváděného do cívky (1) přes konektor (5) dochází postupně k nárůstu síly elektromagnetu. Síla elektromagnetu působí proti předepnutí pružiny (4) a posouvá šoupátko (3) v tělese (2) do polohy, kdy začíná docházet ke zmenšování otevření přechodu z kanálu A do kanálu T. Vlivem otevření přechodu z kanálu P do kanálu A začíná v kanále A narůstat tlak. Do ovládacího prostoru za šoupátkem (3) je přiváděn redukován tlak vyvrtným otvorem v šoupátku (3) ventilu. Redukovaný tlak zde působí na menší plochu řídicího pístku. S narůstáním redukováného tlaku v kanálu A dochází k narůstání síly na plochu pístku, a tím dochází k působení proti síle vyvolané

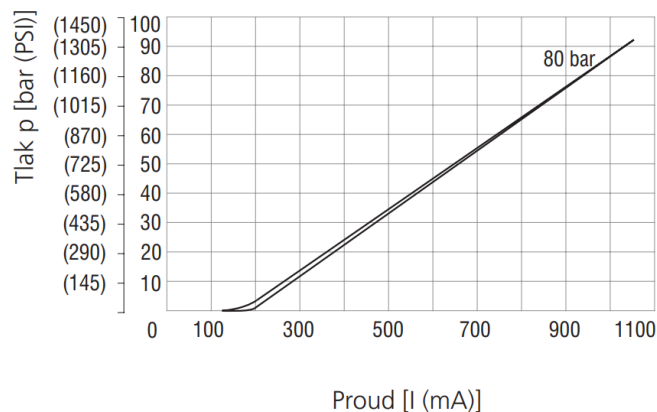
elektromagnetem. Z rozsahu hodnot budícího proudu proudícího do cívky (1) elektromagnetu, existuje vždy stav silové rovnováhy mezi silou elektromagnetu, pružiny (4), síly působící na řídicí pístek a hydrodynamickými silami. Na (Obr. 11) je statická tlaková charakteristika znázorňující, že každá hodnota redukovaného tlaku má stanovenou velikost budícího proudu do cívky (1). Důležitá je zde také charakteristika tlakové ztráty v závislosti na objemovém průtoku (Obr. 12). Vybraný třístenný proporcionální redukční ventil PVRM3-103 je znázorněn na (Obr. 10). [10, 11]



Obr. 10 - Třístenný proporcionální redukční ventil PVRM3-103 [10]
(1 – cívka, 2 – těleso ventilu, 3 – šoupátko, 4 – regulační pružina, 5 – konektor
P – tlaková větev, A – výstupní větev, T – nízkotlaká větev (nádrž))

Redukovaný tlak v závislosti na budícím proudu

Kanál A, rozsah tlaku 0-80 bar (1160 PSI), $Q = 0$ l/min (GPM)
Kanál P, vstupní tlak 90 bar (1305 PSI)

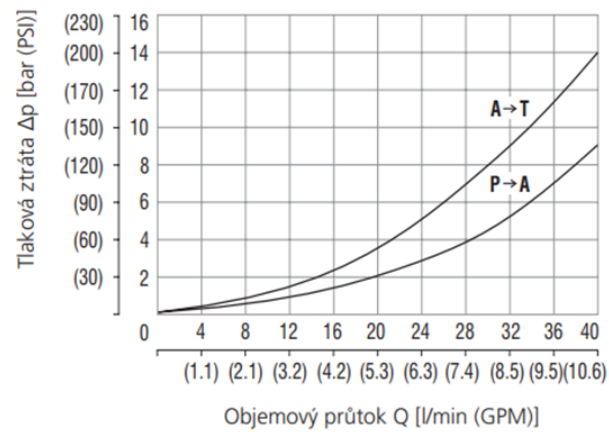


Obr. 11 - Redukovaný tlak v závislosti na budícím proudu [11]

Tlakové ztráty v závislosti na objemovém průtoku

A-T, cívka ventilu deaktivována (pojistná funkce)

P-A, cívka ventilu aktivována (funkce redukce tlaku)



Obr. 12 - Tlakové ztráty v závislosti na objemovém průtoku [11]

Veškeré použité charakteristiky z katalogového listu od výrobce ARGO HYTOS pro třicestný proporcionální redukční ventil PVRM3-103 byly naměřeny při nastaveném vstupním tlaku 90 bar.

4 Způsoby tvorby simulačních modelů

Tvorba simulačního modelu představuje proces, na jehož základě je zkoumanému objektu dle určitých kritérií stanoven fyzický nebo abstraktní model. [12]

Pojem modelování z hlediska výzkumné techniky spočívá v provedení náhrady zkoumaného systému za pomoci modelu, který jej představuje. Cílem provádění pokusů na modelu, je snaha získat co nejlepší představy a informace o chování původního zkoumaného systému [13]. Výstupem procesu modelování je vytvoření příslušného modelu.

4.1 Způsoby modelování

K popisu systému (resp. modelu) je zapotřebí vhodných nástrojů, které mají odpovídající vlastnosti, jako jsou jednoznačnost, srozumitelnost, jednoduchost.

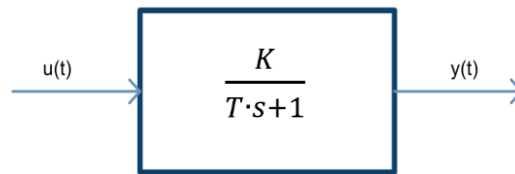
Nejčastější formy pro zhotovení struktury systému jsou:

- blokové schéma
- stavové schéma
- signální schéma

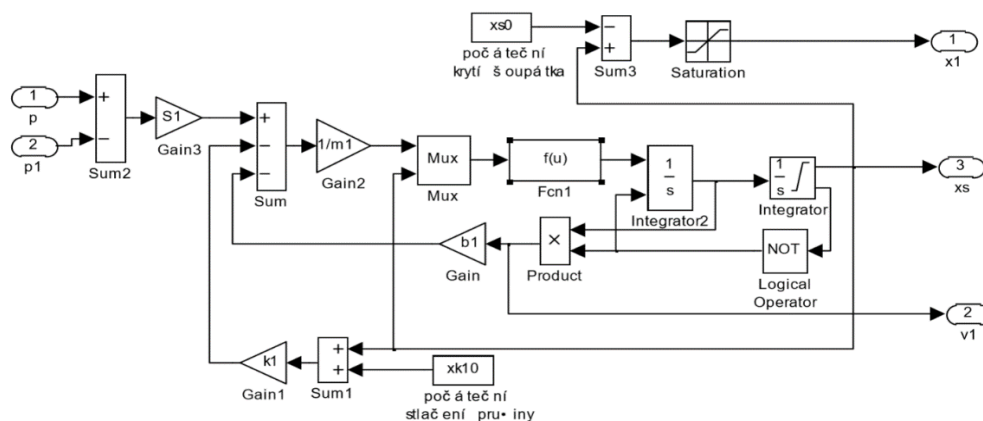
4.1.1 Blokové schéma

Blokové schéma slouží k popsání reálné soustavy pomocí grafického znázornění jednotlivých komponentů se vzájemným propojením. [14]

Blokové schéma je tvořeno bloky, které znázorňujeme pomocí jednoduchých geometrických obrazců (kruh, trojúhelník, čtverec, obdélník atd.). Tyto jednotlivé geometrické obrazce představují funkční bloky, body větvení a součtové body. Jednotlivé bloky blokového schéma zajišťují přenosovou funkci (závislost výstupu na vstupu), mezi sebou jsou spojeny pomocí orientovaných spojnic. Působení příslušných prvků na sebe zajišťují šipky, udávající směr toku informací (signálů) od jednoho prvku k druhému. Bloky blokového schéma lze zjednodušovat pomocí blokové algebry. Na (Obr. 13) je znázornění ilustračního modelu. [14]



Obr. 13 - Ilustrační model bloku [15]

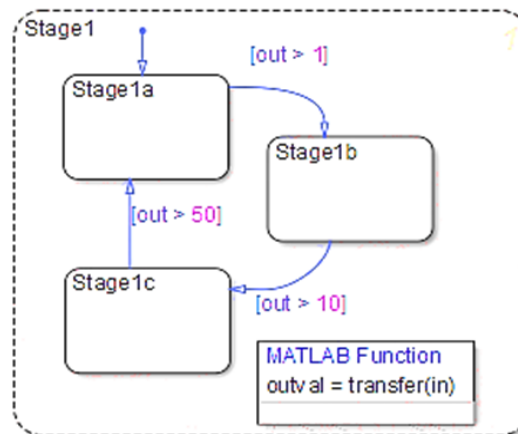


Obr. 14 - Submodel šoupátka ventilu [16]

Na (Obr. 14) je znázorněn submodel šoupátka ventilu, jako blokové schéma vymodelované v programu MATLAB v prostředí Simulink prof. Noskvičem. Blokové schéma má představovat jiný zápis diferenciálních rovnic k matematicko-fyzikálnímu popisu šoupátka. [16]

4.1.2 Stavové schéma

Stavové schéma je způsob modelování, kdy je prováděno zkoumání reakce každého jednotlivého objektu na obdrženou událost a přecházení mezi těmito objekty. Stavové schéma tedy ukazuje možné posloupnosti událostí a stavů, které mohou nastat. Každý stavový diagram musí mít vždy nejméně jeden počáteční stav a jeden konečný stav. [17]

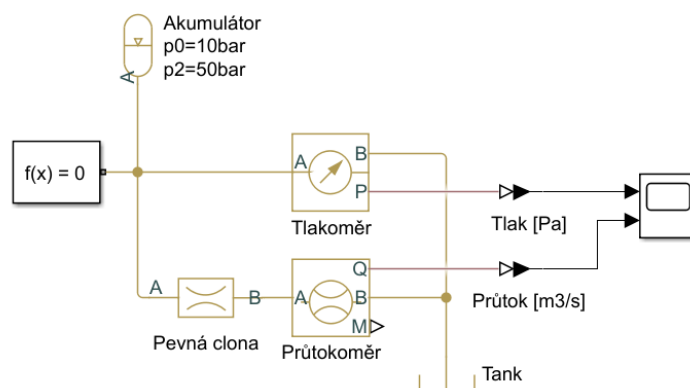


Obr. 15 - Příklad stavového schéma [18]

Všechny posloupnosti musí začínat počátečním stavem a pokračovat tak dlouho, než nastane konečný stav. Posloupnost těchto stavů odpovídá chování systému. Ukázka stavového schéma je znázorněna na (Obr. 15).

4.1.3 Signální schéma

Signální schémata slouží k interpretaci simulačních modelů, které ukazují skutečné chování mechanických systémů. Modely jsou popisovány na základě fyzikální podstaty, přičemž každý komponenty je popsán 2D geometrií. Simulační modely umožňují pracovat s prvky mechanickými, hydraulickými, pneumatickými, magnetickými, elektrickými a tepelnými. [19]



Obr. 16 - Příklad signálního schéma

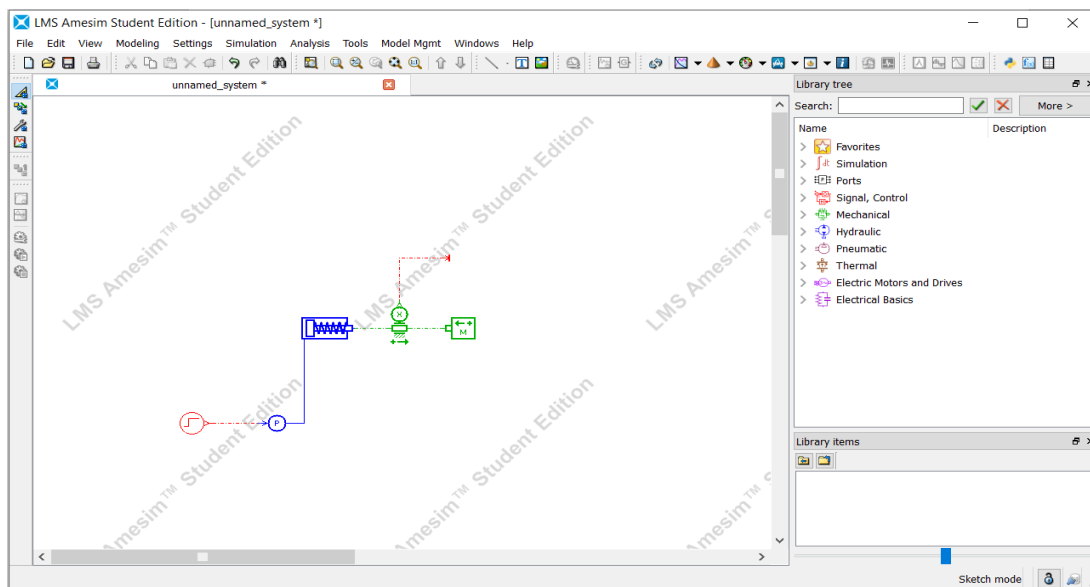
Výše uvedené prvky jsou obsaženy v rozsáhlých knihovnách. Ukázka signálního schéma je znázorněna na (Obr. 16).

4.2 Programy pro vytváření signálních schémat

Kapitola pojednává o simulačních programech pro vytváření signálních schémat. Programy jsou porovnávány mezi sebou a ten nejvhodnější je vybrán. Zvolený program bude použit pro vytvoření jednoduchého simulačního schématu.

4.2.1 Amesim Siemens

LMS Imagine.Lab Amesim (zkráceně Amesim) je program od společnosti Siemens, který obsahuje bezplatnou studentskou licenci, která není omezena datem platnosti. Nevýhodou této studentské licence je omezený balíček knihoven z oblasti mechanické (translační a rotační), elektrické, hydraulické, pneumatické, magnetické a tepelné. [20]

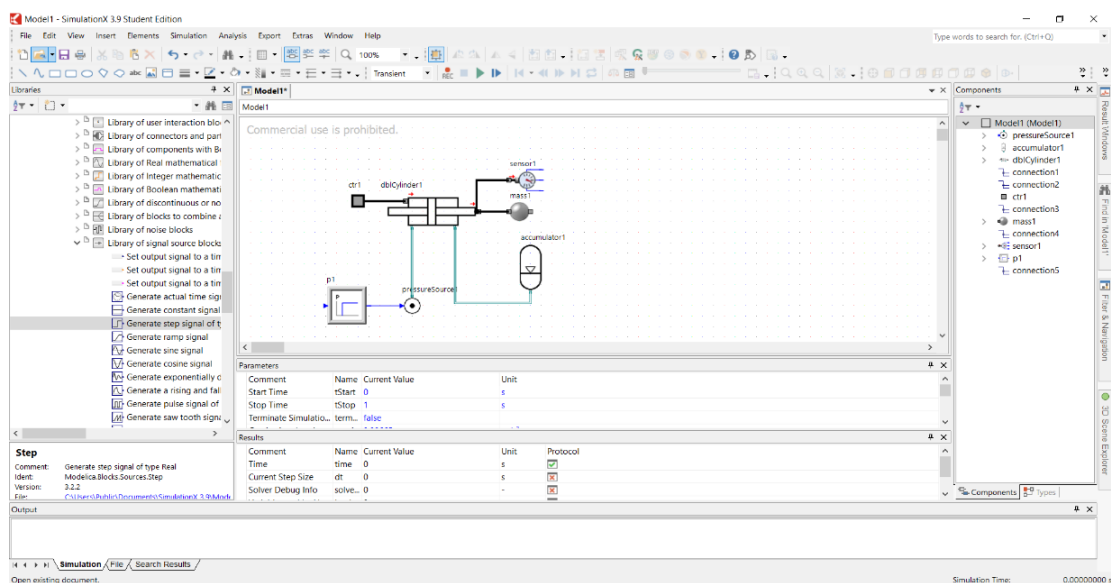


Obr. 17 - Ukázka prostředí LMS Amesim

Amesim studentská licence podporuje jen počítačovou platformu Windows 7 a starší verze, proto je v dnešní době, kdy již skončila podpora Windows 7 pro nekorporátní uživatele, tento program nepoužitelný. Ukázka prostředí LMS Amesim Siemens je na (Obr. 17).

4.2.2 SimulationX

SimulationX je univerzální software skupiny ESI ITI, vytvořený jako programový balíček k modelování, výpočetním operacím a simulování. Program podporuje jazyk Modelica, čímž se řadí do tzv. Opensours skupiny (volně dostupné). Tím má SimulationX přístup ke knihovnám s velkým množstvím komponent z oblasti mechanické (translační a rotační), elektrické, hydraulické, pneumatické, magnetické, tepelné atd. [21]



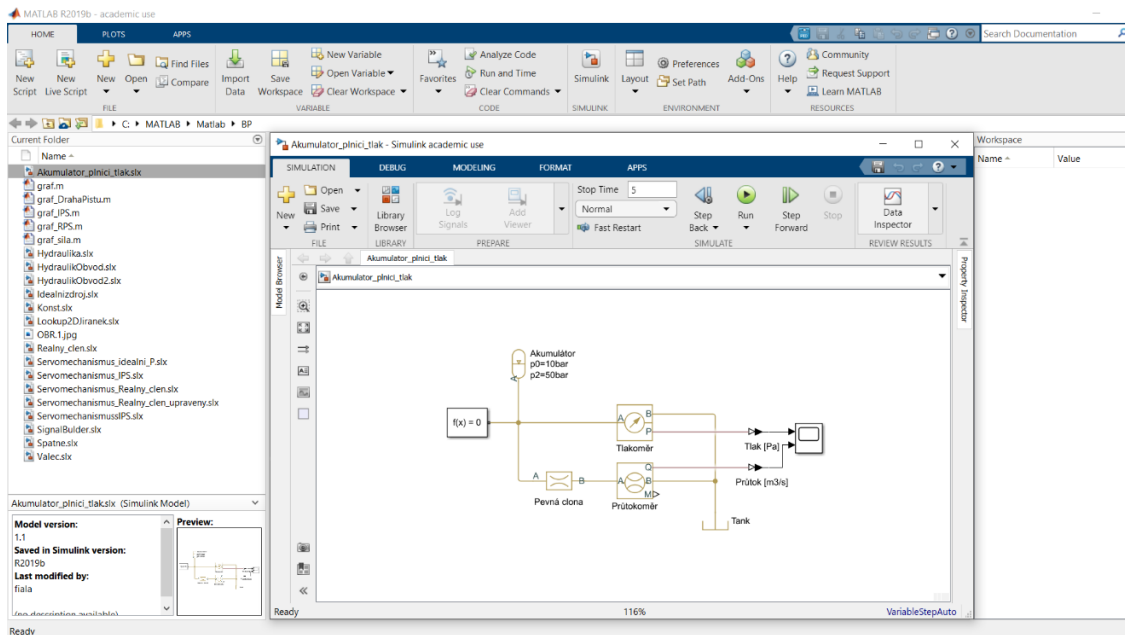
Obr. 18 - Ukázka prostředí SimulationX

SimulationX podporuje počítačovou platformu Windows 7 a novější verze, také podporuje jazyk C. Pro SimulationX je dostupná studentská licence, která má omezený počet rovnic. Počet je stanoven na 15 rovnic. Dalším omezením je četnost použití konkrétního prvku v modelu. Ukázka prostředí SimulationX je na (Obr. 18). [21]

4.2.3 Simscape Matlab Toolbox

Simscape je další z mnoha nadstaveb Simulinku v prostředí Matlab. Díky tomu je Simulink rozšířen o nástroje umožňující modelování a simulaci fyzikálních systémů tzv. „multi-domain“. Systémy je možné složit pomocí Simscape knihovny, ve které jsou obsaženy základní prvky představující fyzické prvky z oblasti mechanické (translační a rotační), elektrické, hydraulické, pneumatické, magnetické, tepelné, termo-hydraulické. Simscape v simulačních schématech pracuje a využívá reálné fyzikální veličiny, jako jsou síly, momenty, napětí, proudy, tlaky, průtoky atd. [19, 22]

Simscape disponuje vlastním jazykem (Simscape language), který je založený na jazyku Matlab. Program Matlab je uzavřený nástroj společnosti MathWorks, a proto i tato vlastnost připadá Simscapu (není volně dostupný). Simscape podporuje všechny počítačové platformy, dokonce i přímé generování C kódu, popřípadě C++ kódu. [19, 22]



Obr. 19 - Ukázka prostředí Simscape Matlab Toolbox

Komerční licence zamezuje volnou dostupnost systému, ale pro akademické účely má ČVUT tuto licenci zpřístupněnou. Ukázka prostředí Simscape Matlab Toolbox je znázorněna na (Obr. 19).

4.2.4 Výběr simulačního programu pro následný model

Porovnání výhod a nevýhod použitelnosti vybraných programů v nekomerčním prostředí (studentské sféře) (Tabulka 1).

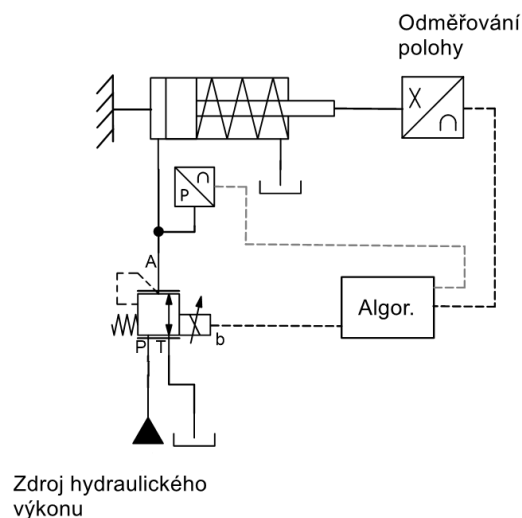
Tabulka 1 - Porovnání simulačních programů

	LMS Amesim	SimulationX	Simscape
Studentská verze	Bezplatná studentská licence bez data vypršení platnosti	Licence pro studenty	Licence pro studenty ČVUT
Podporovaná platforma	Windows 7 a starší verze	Windows 7 a novější verze	Všechny počítačové platformy
Knihovny	Vlastní knihovna prvků	Volně dostupná knihovna prvků	Vlastní knihovna prvků
Omezení	Malý počet prvků v knihovně	Počet použitých prvků a jejich četnost	Vlastní jazyk (Simscape language)

Z tohoto porovnání, s ohledem na dodržení licenčních podmínek, vychází nejlépe SimulationX. Jelikož ale ČVUT má zpřístupněnou licenci pro Simscape Matlab Toolbox, odpadají jednotlivá provozní omezení. Proto byl Simscape Matlab Toolbox vyhodnocen jako nejlepší nástroj pro následnou realizaci simulace.

5 Tvorba modelu servomechanismu

Před vlastním reálným experimentem je zapotřebí provést simulaci navržené zjednodušené podoby servomechanismu na (Obr. 20). Získané informace ze simulace jsou nezbytnou součástí pro zajištění správné funkčnosti, nebo k zamezení kolizních stavů.



Obr. 20 - Funkční schéma se zjednodušením na jeden půlmůstek (TPRV)

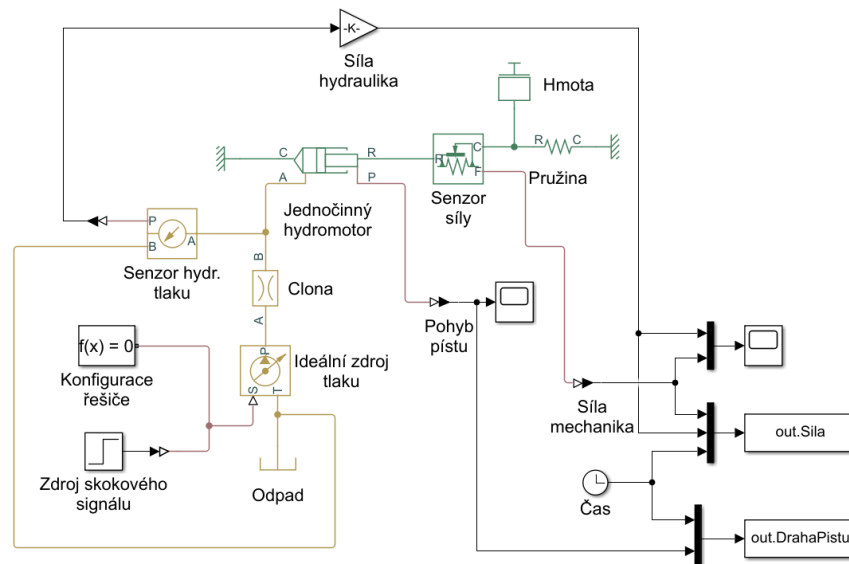
Model servomechanismu bude kompletován z jednotlivých dílčích uzlů. U dílčích uzlů je nejprve zapotřebí ověřit správnou funkčnost. Po ověření lze přikročit k sestavení funkčního modelu servomechanismu. Veškeré prováděné návrhy a simulace servomechanismu jsou tvořeny v programu Simscape Matlab Toolbox. Dle zhodnocení v bodu 4.2.4 je z mého hlediska nejvíce vyhovující pro použití v bakalářské práci program Simscape Matlab Toolbox.

5.1 Servomechanismus s ideálním zdrojem tlaku

Prvním nejdůležitějším krokem k sestavení modelu je zjistit jeho chování. To se u reálného obvodu zjišťuje obtížně, z tohoto důvodu bude model idealizován. Uvažováním konstantního tlaku bez tlakových ztrát vznikne servomechanismus s ideálním zdrojem tlaku. Prvky jako ventil a hydrogenerátor jsou nahrazeny ideálním zdrojem tlaku.

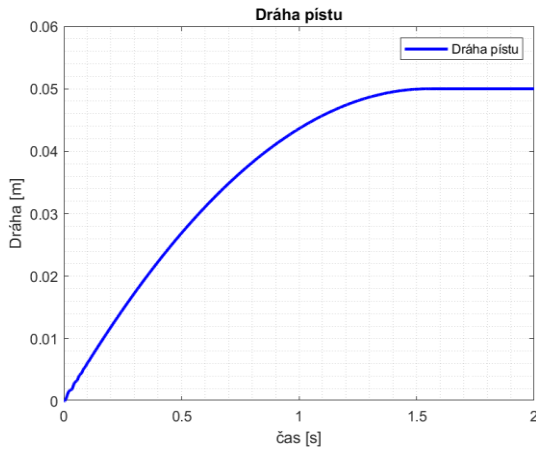
5.1.1 Dopředné řízení

Z důvodu ověření chování modelu bylo zapotřebí zjistit, odezvu modelu na zadané vstupní signály. Vstupní informace řídí tlak, který uvádí píst hydromotoru do pohybu. Vše je řízeno pomocí dopředného řízení. Protože je regulován pouze tlak, informace o poloze pístu není nezbytná. Zpětná vazba tímto nemusí být uzavřena. Výstupem je získána představa, o jaký systém se jedná díky odezvě na vstupní signál. Konečné schéma servomechanismu s ideálním zdrojem tlaku pro dopředné řízení je znázorněno na (Obr. 21).

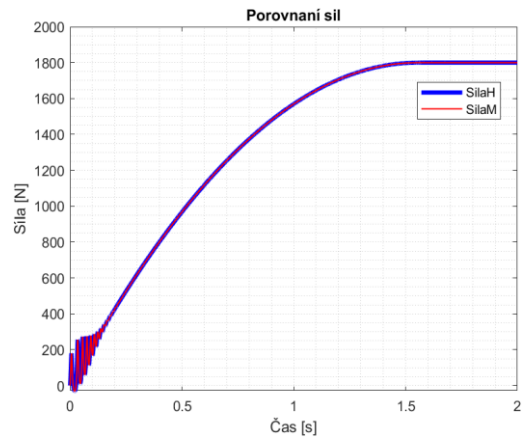


Obr. 21 - Servomechanismus s ideálním zdrojem tlaku - dopředné řízení

Schéma ověřuje, jakou odezvu bude mít servomechanismus na zadaný skokový signál. Odezva na skokovou změnu tlaku se projeví uvedením pístu hydromotoru do pohybu, znázorněno v grafu č. 1. Píst se pohybuje, dokud nenastane vyrovnání silových poměrů na hydromotoru (síla od tlaku-síla od vratné pružiny), to vede k jeho zastavení. Silová rovnováha mezi hydraulickou silou ($Síla_H$) a mechanickou silou ($Síla_M$), je znázorněna v grafu č. 2. Kmitání na začátku je způsobeno hmotou přidanou na pístnici a tuhostí olejového sloupce. Z průběhu grafu č. 1 a grafu č. 2 je zjištěno, že se jedná o statický systém prvního řádu.



Graf 1 - Poloha pístu

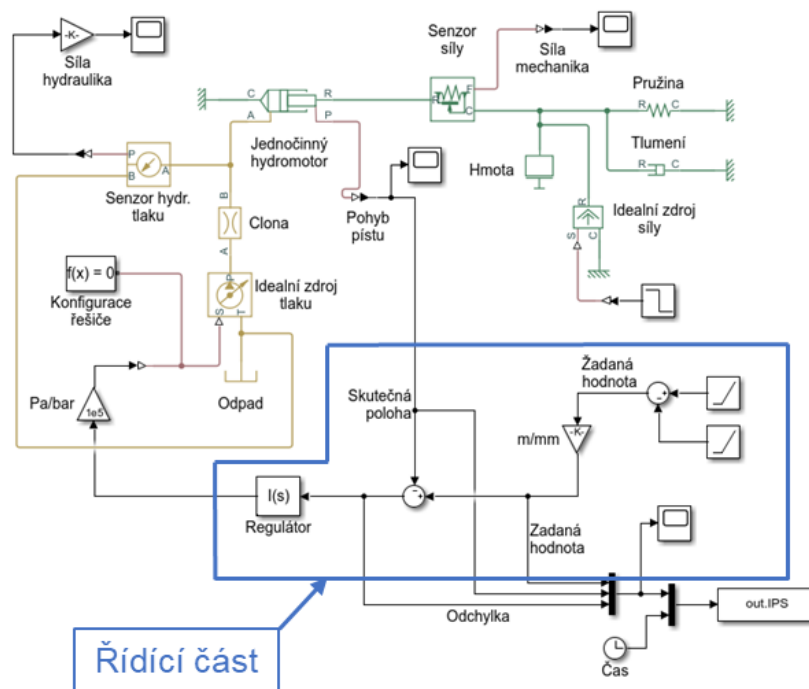


Graf 2 - Rovnováha síly (SílaH a SílaM)

Dynamika systému není předmětem výzkumu, proto tomuto jevu nebude nadále věnována pozornost.

5.1.2 Zpětnovazební řízení

Konečné schéma servomechanismu s ideálním zdrojem tlaku pro zpětnovazební řízení je znázorněno na (Obr. 22). Rozdíl mezi (Obr. 22) a (Obr. 21) je v použití řídicí části, do které je přivedena zpětná vazba z hydromotoru.

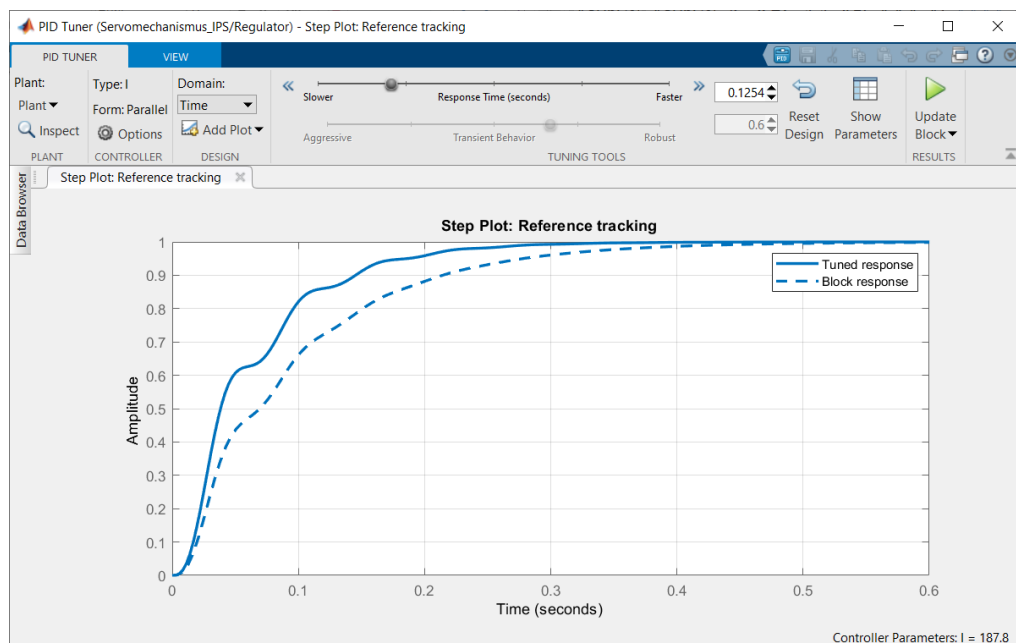


Obr. 22 - Servomechanismus s ideálním zdrojem tlaku - zpětnovazební řízení

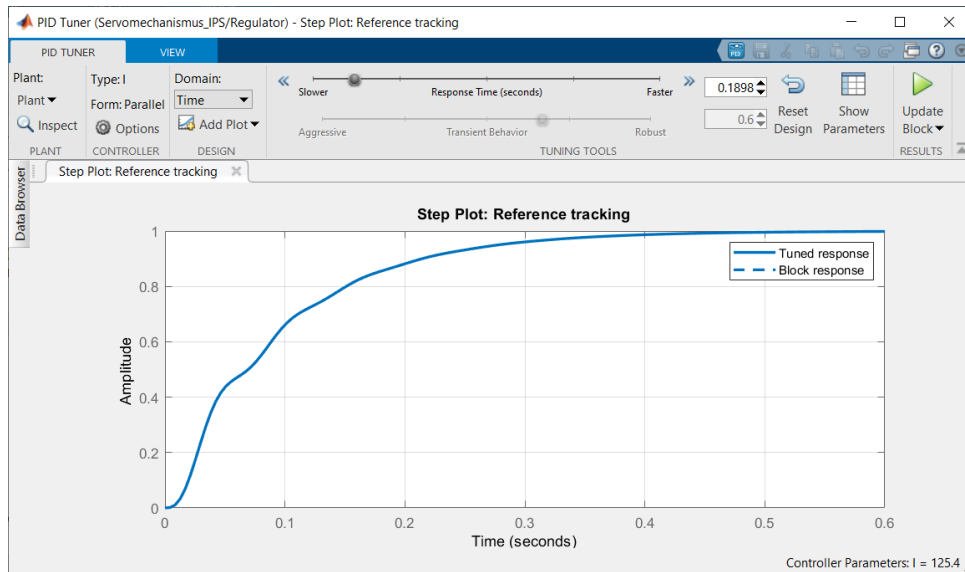
Schéma bylo zkompletováno z modelu pro dopředné řízení, rozšířeného o řídicí část. Řídicí část představuje I regulátor, který pracuje pouze s integrační složkou. Jednotlivé polohy pístu jsou zaznamenávány pomocí senzoru polohy. Tyto informace o skutečné poloze pístu jsou předávány zpět do regulátoru. Tím je uzavřena zpětná vazba regulace.

Rozdíl mezi žádanou a skutečnou hodnotou je odchylka, která vstupuje do regulátoru. Cílem je minimalizovat regulační odchylku. K tomu je zapotřebí správné naladění I regulátoru.

Veškeré ladění regulátoru je provedeno v aplikaci PIDTuner pro Matlab Simscape. Po spuštění PIDTuneru, software linearizuje model a dále pracuje s touto linearizovanou náhradou. PIDTuner automaticky upravuje vstup a výstup daného modelu a opět provede linearizaci modelu v aktuálním pracovním bodě (Obr. 23). Tím je získána odezva (čárkovaná křivka), která je přiměřeným kompromisem mezi rychlostí a robustností. Při nevyhovující odezvě je možné posuvníkem doby odezvy zvyšovat nebo snižovat dobu odezvy uzavřené smyčky. Tímto krokem se upravuje odezva (plná křivka), u které bylo prováděno zvyšování doby odezvy (Obr. 24). Poté, co odezva na lineárním modelu vyhovuje, je možné návrh otestovat na simscape modelu. Vypočtenou hodnotu integrační složky PIDTunerem pomocí tlačítka aktualizovat blok, se zapíše do PID regulátoru daného modelu. [23]

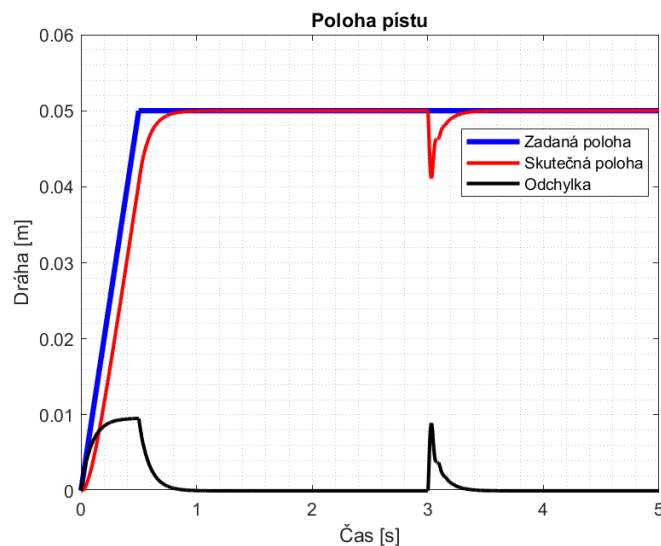


Obr. 23 - Linearizovaný model v pracovním bodě - ideální parametry



Obr. 24 - Naladěný regulátor - ideální parametry

V dalším kroku je provedena simulace modelu v časové oblasti. Výstupem simulace je graf č. 3, vykreslující závislost polohy pístu na čase.



Graf 3 - Poloha pístu - ideální parametry

V grafu č. 3 je vykreslen průběh zadané a skutečné hodnoty a jejich odchylky. Zadáním vstupních informací (rampa polohy) je píst vysouván z nulové polohy rychlostí $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na žádanou polohu 0,05 m. Ustálené hodnoty 0,05 m bylo docíleno během 1 s díky polohové regulaci. Píst setrvává v dané poloze až do doby 3 s, kdy je do systému

přivedena skoková změna síly o velikosti 500 N. Píst se z polohy 0,05 m zasune o 0,01 m. Pomocí regulace jsou vykompenzovány síly a píst je vrácen během 0,5 s na žádanou polohu 0,05 m. Regulační schéma funguje podle předpokladů.

5.2 Servomechanismus s reálnými parametry ventilu

Po analýze ideálního obvodu řízeného regulátorem s integrační složkou (viz kapitola 5.1) je vhodné zjistit, jaký bude mít vliv na chování obvodu redukční ventil s reálnými parametry.

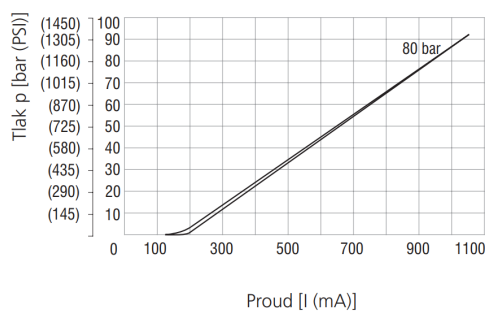
Pro simulaci reálného chování obvodu bude nahrazen ideální zdroj tlaku ventilem s reálnými parametry. K implementaci reálných parametrů budou využity poznatky z kapitoly 3.2.

5.2.1 Reálný člen (třícestný proporcionální redukční ventil)

Blok, představující třícestný proporcionální redukční ventil, není obsažen v knihovně prvků programu Simscape Matlab Toolbox. Nedostupnost tohoto prvku lze vyřešit vytvořením vlastního bloku z dostupných komponent, obsažených v knihovně pro Matlab. Blok třícestného proporcionálního redukčního ventilu byl sestaven z prvků Simscape hydrauliky a programovatelného bloku Look Up Table. Správné naprogramování bloku Look Up Table se odvíjí ze získaných charakteristik (Obr. 25) z technického listu ventilu PVRM3-103 od firmy ARGO HYTOS [11]. Použitá data z technického listu byla naměřena pro maximální nastavený tlak 80 bar.

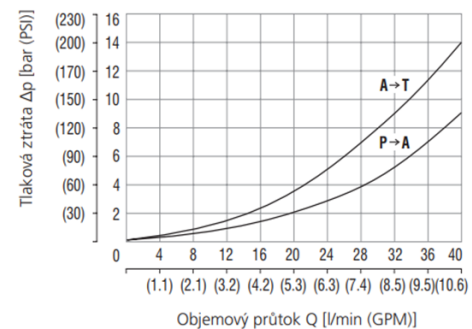
Redukovaný tlak v závislosti na budícím proudu

Kanál A, rozsah tlaku 0-80 bar (1160 PSI), Q = 0 l/min (GPM)
Kanál P, vstupní tlak 90 bar (1305 PSI)



Tlakové ztráty v závislosti na objemovém průtoku

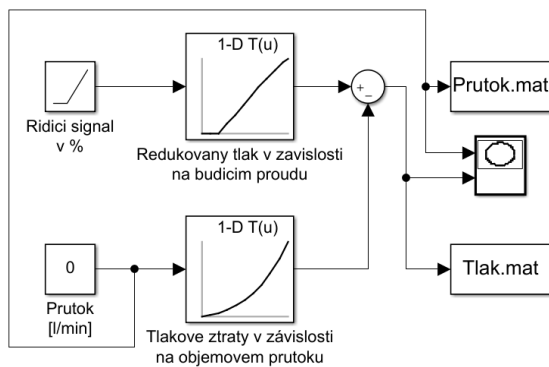
A-T, cívka ventilu deaktivována (pojistná funkce)
P-A, cívka ventilu aktivována (funkce redukce tlaku)



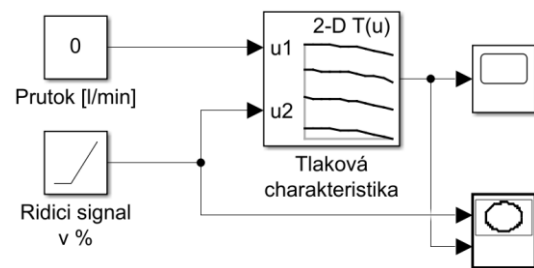
Obr. 25 - Redukovaný tlak v závislosti na budícím proudu a tlakové ztráty v závislosti na objemovém průtoku [11]

Charakteristiky jsou zaneseny do blokového schéma (Obr. 26) v programu Matlab. Z těchto charakteristik jsou získány body pro sestavení tlakově průtokové charakteristiky ventilu PRVM3-103. Odečtením tlakové ztráty dané průtokem od redukovaného tlaku daného řídicím signálem, lze získat 2D charakteristiku použitelnou v modelu. Pro ověření této myšlenky byly nejprve v 1D Look Up Table interpretovány charakteristiky zvlášť a následně byly zkombinovány do 2D tabulky.

Implementováním získaných dat z blokového schéma (Obr. 26) do bloku Look Up Table, byl vytvořen potřebný náhradní prvek. Aby byla zajištěna a ověřena správná funkčnost bloku Look Up Table, je zapotřebí provést kontrolní simulaci schéma (Obr. 27). Daným schématem je ověřena závislost redukovaného tlaku v závislosti na budícím proudu.



Obr. 26 - Blokové schéma tlakové charakteristiky



Obr. 27 - Blokové schéma ověření funkčnosti 2-D Look up Table

Následně vytvořený graf č. 4 se liší od katalogového grafu charakteristiky redukovaného tlaku v závislosti na budícím proudu (Obr. 25) tím, že na vodorovnou osu je vynášen řídicí signál místo proudu, a na svislou osu je vynášen redukovaný tlak, generovaný blokem Look Up Table. Odečtením bodů z křivky získaného grafu č. 4 je zjištěna shoda s odečtenými body na křivce z grafu charakteristiky redukovaného tlaku v závislosti na budícím proudu (Obr. 25) technického listu ventilu.

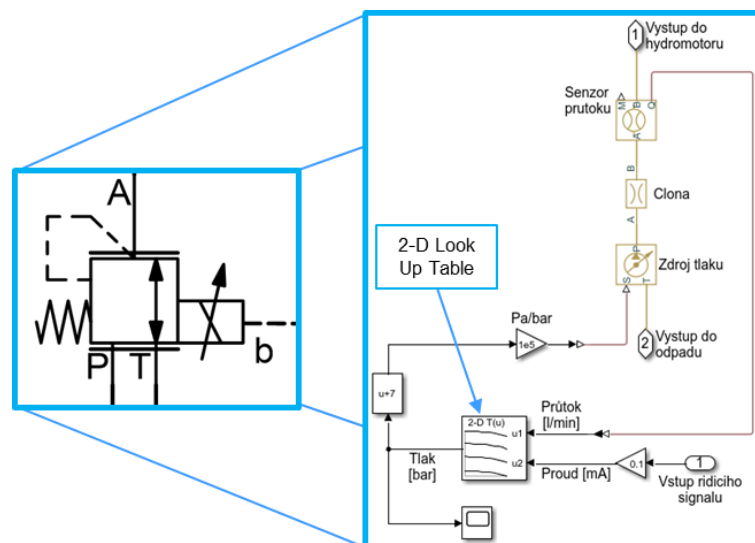


Graf 4 - Závislost redukovaného tlaku v závislosti na řídicím signálu

Z toho vyplývá, že se může blok Look Up Table využít do schématu třicestného proporcionálního redukčního ventilu. Takto vzniklý popis nezohledňuje dynamiku ventilu, přesto jak již bylo zmíněno, dynamické vlastnosti soustavy nejsou předmětem této práce.

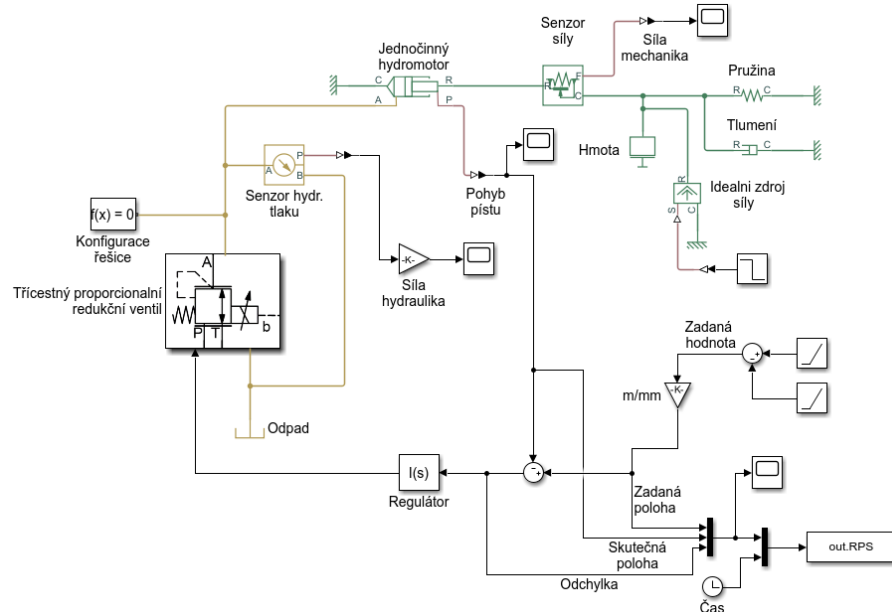
5.2.2 Aplikace reálného členu do servomechanismu

Vytvořený model třicestného proporcionálního redukčního ventilu (Obr. 28) je zapotřebí zakomponovat do již vytvořeného modelu, zabývajících se zpětnovazebním řízením s ideálním zdrojem tlaku.



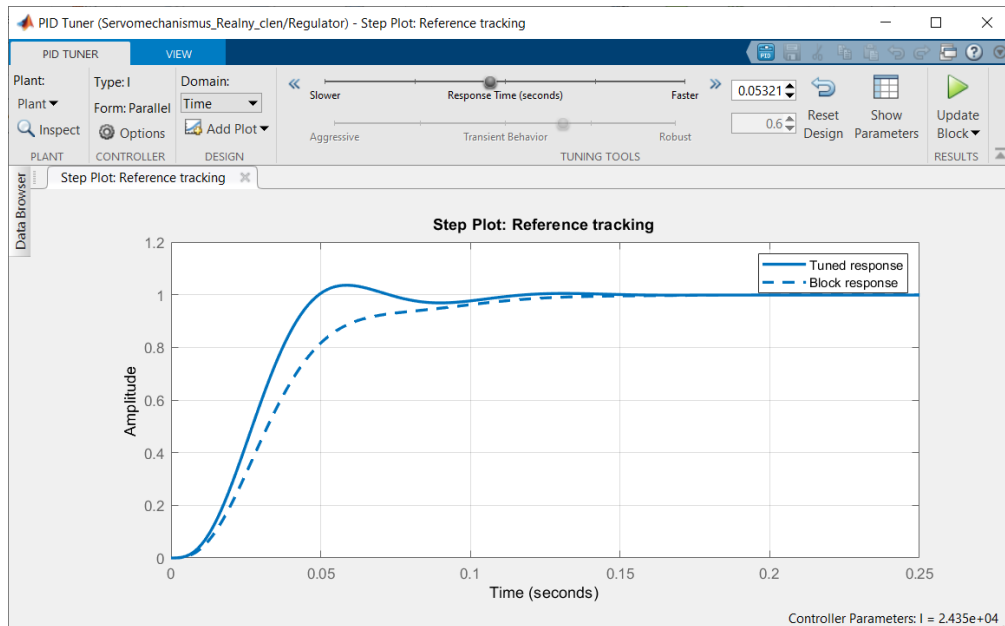
Obr. 28 - Model třicestného proporcionálního redukčního ventilu

Model třicestného proporcionálního redukčního ventilu je aplikován do servomechanismu s ideálním zdrojem tlaku za blok ideálního zdroje tlaku. Tímto dosazením je zajištěno vytvoření modelu servomechanismu s reálnými parametry (Obr. 29).

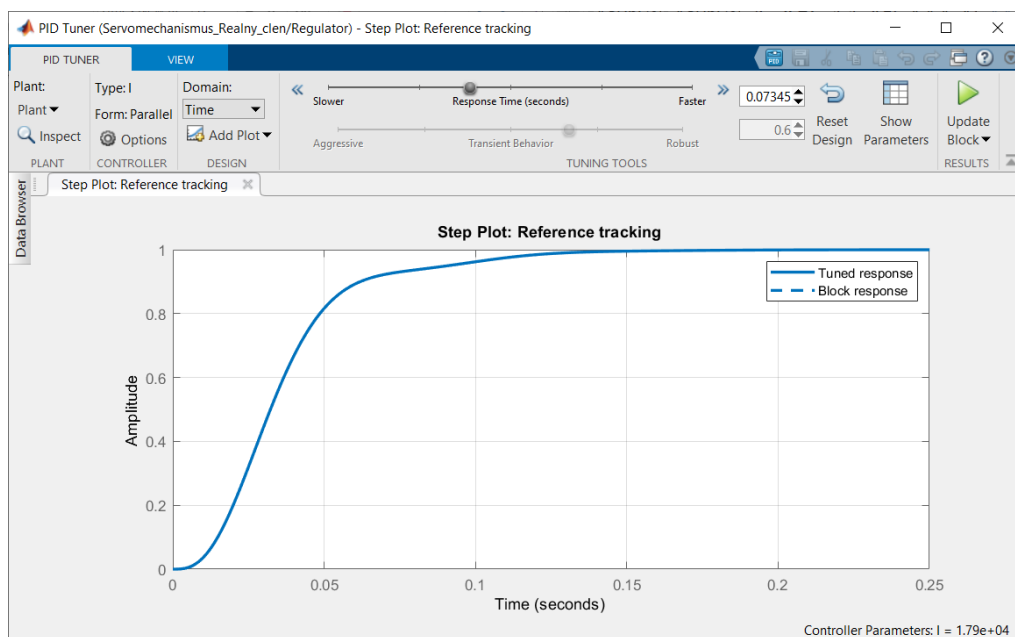


Obr. 29 - Servomechanismus s reálným zdrojem tlaku

V modelu musí být znovu provedeno naladění regulátoru pomocí aplikace PIDTuner pro Matlab Simscape. Po spuštění PIDTuneru, software opět vypočítá linearizovaný model. PIDTuner automaticky upravuje vstup a výstup daného modelu a provede linearizaci v aktuálním pracovním bodě (Obr. 30). Tím je opět získána odezva (čárkovaná křivka), která je přiměřeným kompromisem mezi rychlostí a robustností. Při nevyhovující blokové odezvě se znovu posuvníkem doby odezvy zvyšuje nebo snižuje doba odezvy uzavřené smyčky. Tímto krokem se opět upravuje odezva (plná křivka), u které bylo prováděno mírné zvýšení doby odezvy (Obr. 31). Poté co odezva na lineárním modelu opět vyhovuje, je možné návrh otestovat na simscape modelu. Vypočtená hodnota integrační složky daného modelu se zapíše do PID regulátoru, pomocí tlačítka aktualizovat blok v PIDTuneru. [23]



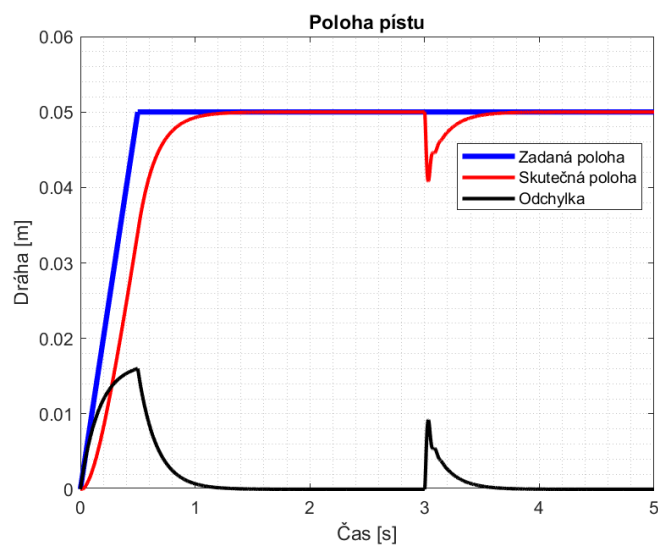
Obr. 30 - Linearizovaný model v pracovním bodě - reálné parametry



Obr. 31 - Naladěný regulátor - reálné parametry

Stejně jako při provádění simulace modelu s ideálním zdrojem tlaku, je i zde potřeba provést simulaci modelu. Simulací je získán graf č. 5, který vykresluje závislost polohy pístu na čase. V grafu č. 5 je opět vykreslen průběh zadané a skutečné hodnoty a jejich odchylky. Zadáním stejných vstupních informací (rampa polohy) je píst vysouván

z nulové polohy rychlostí $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na žádanou polohu $0,05 \text{ m}$. Ustálené hodnoty $0,05 \text{ m}$ bylo docíleno během $1,5 \text{ s}$ díky polohové regulaci. Píst setrvává v dané poloze až do doby 3 s , kdy je do systému přivedena skoková změna síly o velikosti 500 N . Píst se z polohy $0,05 \text{ m}$ zasune o $0,01 \text{ m}$. Pomocí regulace jsou vykompenzovány síly a píst je zasunut během 1 s na žádanou polohu $0,05 \text{ m}$. Regulační schéma opět funguje dle předpokladů.

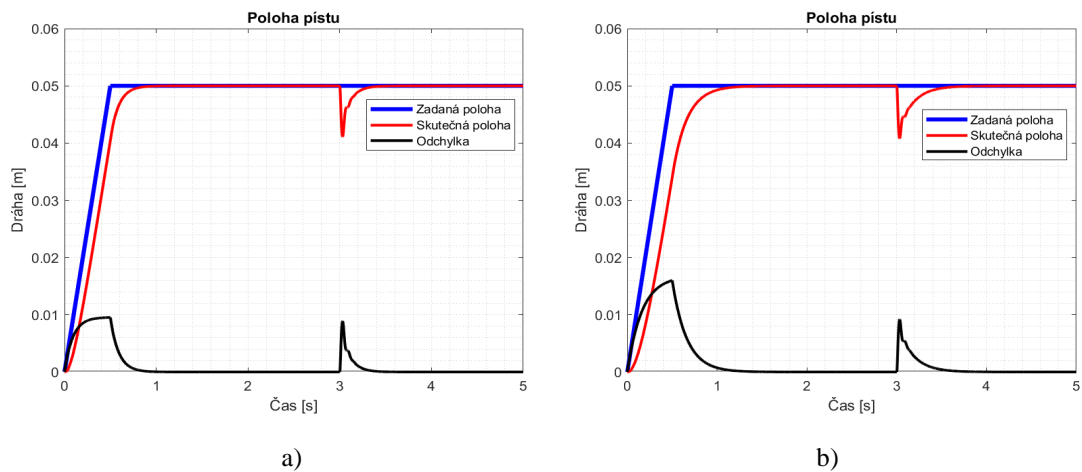


Graf 5 - Poloha pístu - reálné parametry

Kompletací modelu zpětnovazebního řízení s ideálním zdrojem tlaku a modelu třícestného proporcionálního redukčního ventilu je získána náplň simulační části. Simulační model bude dále aplikován na vytvořený obvod v laboratoři ČVUT.

5.3 Zhodnocení simulační části

Po zdárném vytvoření funkčních schémat byly získané hodnoty zaznamenány do grafů. První graf č. 6a zobrazuje hodnoty získané při simulaci za uvažování ideálních podmínek. Druhý graf č. 6b znázorňuje hodnoty, získané ze simulace při zahrnutí reálných podmínek. Z grafů je patrné, že u obou schémat bylo docíleno podobného chování. Skutečná poloha pístu se po dosažení zadané polohy ustálí a v dané poloze setrvává. Nejvíce zajímavé je zobrazení regulační odchylky, která při simulaci vznikla a je patrná na grafu č. 6a i na graf č. 6b. Odchylky u obou grafů se liší jak v časové prodlevě, tak i v prodlevě polohy pístu. Při simulaci s reálnými parametry je odchylka o cca 30 % větší oproti simulaci s ideálními podmínkami.

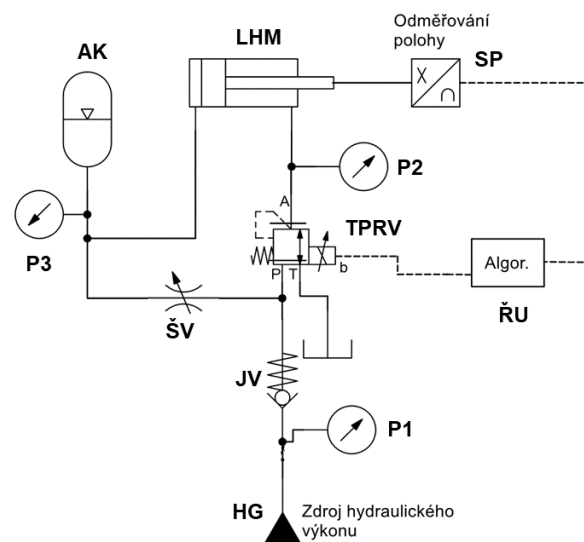


Graf 6 - Poloha pístu - ideální/reálné parametry

6 Ověření na reálném obvodu

Tato kapitola pojednává o propojení simulace s reálným hydraulickým obvodem zrealizovaným v hydraulické laboratoři. Hydraulický obvod bude sestavován podle hydraulického schéma (Obr. 32).

Hydraulický obvod je sestaven z čerpadla (hydrogenerátoru), kterým je mechanická energie přeměněna na tlakovou energii. Na čerpadlo je pomocí hadice připojen třícestný proporcionální redukční ventil. Třícestný proporcionální redukční ventil je hadicí napojen na pravou pístnicovou stranu dvojčinného přímočarého hydromotoru. Takto provedeným zapojením třícestného proporcionálního redukčního ventilu je řízeno zasouvání pístu hydromotoru. K vratnému pohybu pístu hydromotoru je užita hydraulická síla, kterou zajišťuje membránový akumulátor. Akumulátor je napojen na levou pístovou stranu dvojčinného přímočarého hydromotoru a na čerpadlo. Mezi čerpadlo a akumulátor je vložen škrťací ventil, který slouží k řízenému naplnění akumulátoru kapalinou a k jejímu uzavření.



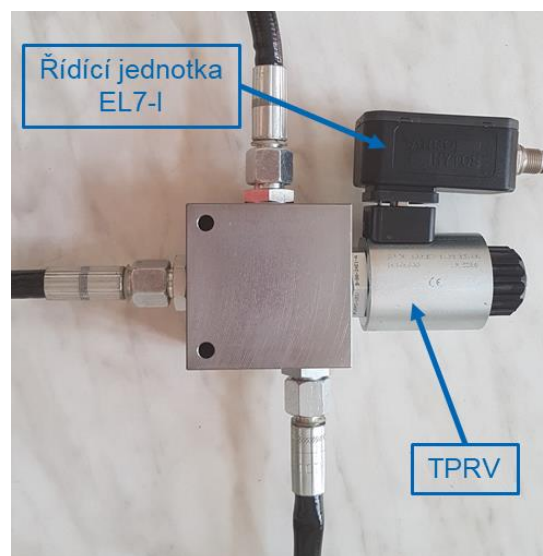
Obr. 32 - Hydraulické schéma

(AK – akumulátor, HG – hydrogenerátor,
JV – jednosměrný ventil, LHM – lineární hydromotor,
P1, P2, P3 – manometry, ŘU – řídicí ústředna,
SP – senzor polohy, ŠV – škrťací ventil,
TPRV – třícestný proporcionální škrťací ventil)

Při ověřování simulační části probíhalo ověřování v souladu s jednotlivými simulačními modely. V laboratoři proto při experimentu bude postupováno stejným způsobem. Nejprve bude ověřena funkčnost hydraulického obvodu aplikováním dopředného řízení. V dalším kroku potom bude zkoumáno reagování hydraulického obvodu na řízení pomocí zpětnovazebního řízení.

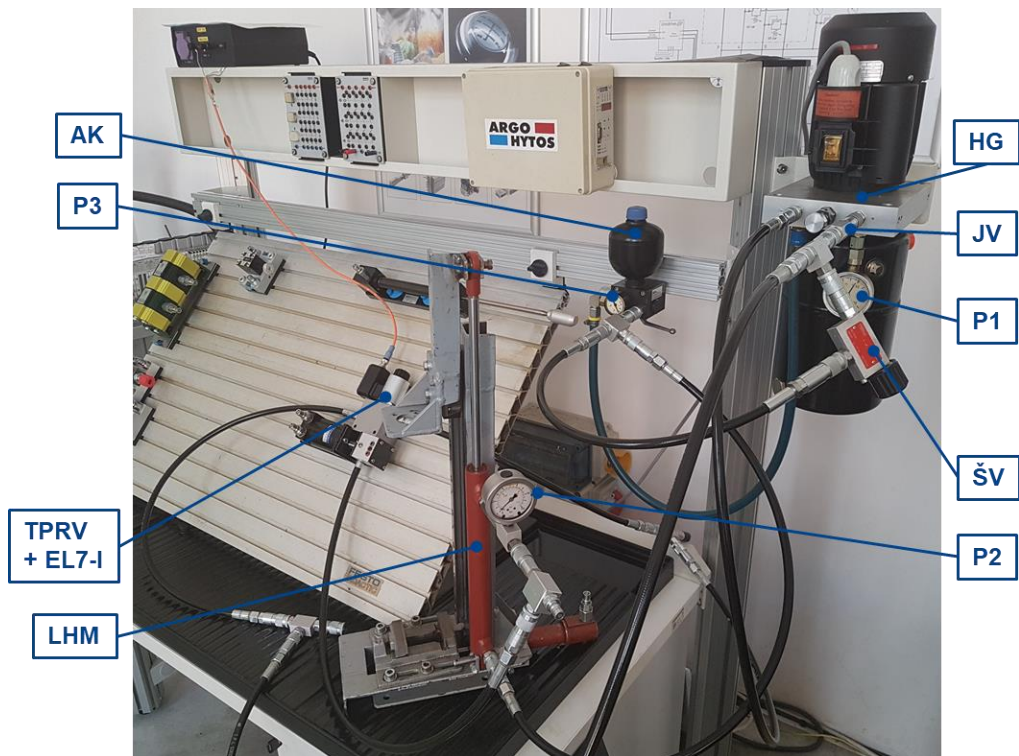
6.1 Hydraulický obvod pro dopředné řízení

V prvním kroku je vytvořen jednoduchý hydraulický obvod s třicestným proporčním redukčním ventilem (Obr. 33). Obvodem dojde k ověření funkčnosti jednotlivých komponent i celého obvodu při aplikaci dopředného řízení. Dále je pomocí dopředného řízení ověřována rovnováha sil, které působí na píst hydromotoru.



Obr. 33 - Třicestný proporční ventil s řídicí jednotkou EL7-I

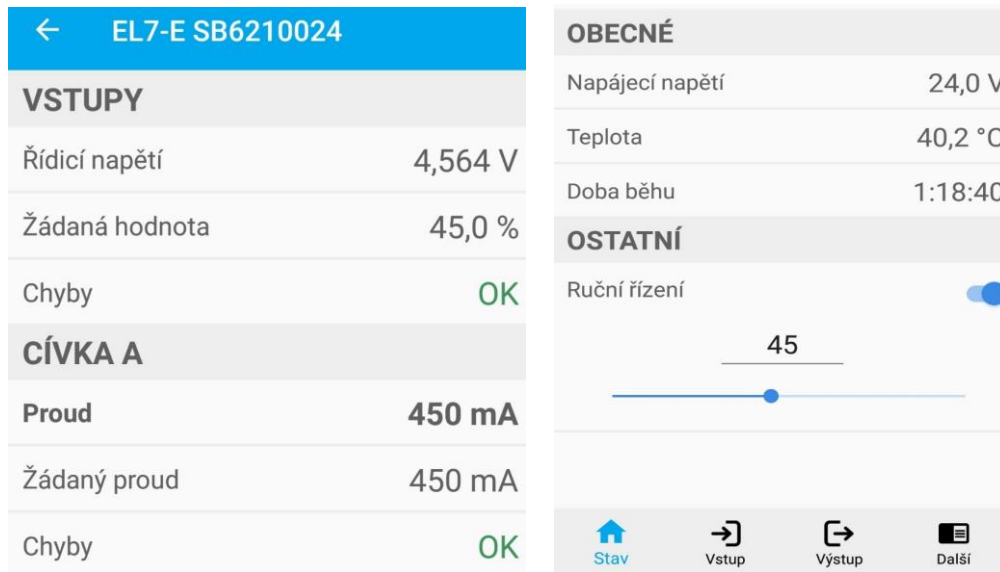
Před prvním ověřením obvodu je provedeno nastavení tlaku akumulátoru na 10 bar. Sestavený reálný hydraulický obvod pro dopředné řízení je znázorněn na (Obr. 34).



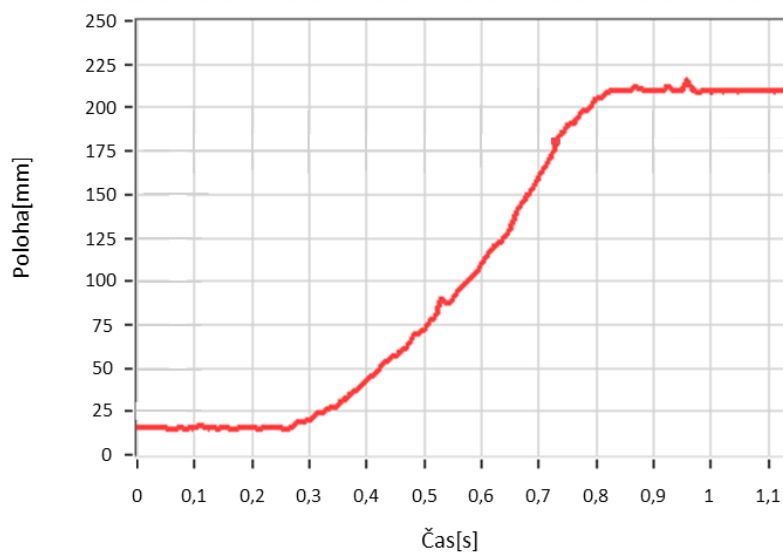
Obr. 34 - Hydraulický obvod dopředného řízení

(AK – akumulátor, EL7-I – řídicí jednotka, HG – hydrogenerátor, JV – jednosměrný ventil, LHM – lineární hydromotor, P1, P2, P3 – manometry, ŠV – škrťací ventil, TPRV – třícestný proporcionální škrťací ventil)

Samotné řízení třícestného proporcionálního redukčního ventilu je zajištěno připojenou řídicí jednotkou EL7-I přes DIN konektor (Obr. 33). Řídicí jednotka je napojena na zdroj stejnosměrného napětí 24 V. Tato řídicí jednotka má v sobě zabudované komunikační rozhraní bluetooth. K řídicí jednotce se lze připojit z mobilní aplikace od firmy ARGO HYTOS, určené pro instalaci na platformě Android. Mobilní aplikace slouží k monitorování a nastavování parametrů (typ řídicího signálu, rampa polohy, frekvence výstupního signálu, ruční nastavení tlaku, atd.). V mobilní aplikaci je možné ručně nastavovat hodnotu proudu, na který reaguje ventil přestavením šoupátka. Ruční nastavení třícestného proporcionálního redukčního ventilu je zobrazeno na (Obr. 35). [24]



Obr. 35 - Ruční nastavení v mobilní aplikaci ARGO HYTOS

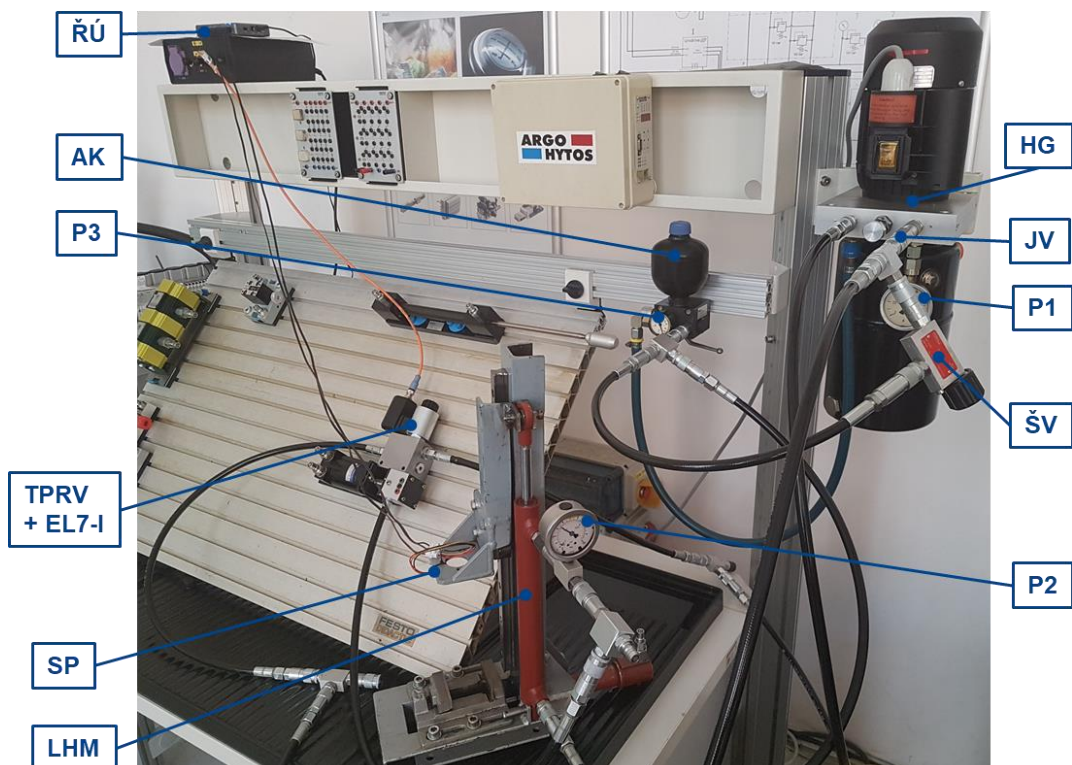


Graf 7 - Rovnováha hydraulických sil na pístu přímočarého hydromotoru

Takto prováděné řízení třicestného proporcionálního redukčního ventilu je umožněno pouze v otevřené regulační smyčce bez zpětné vazby. Řízením tlaku byla vyvolána síla v přímočarém hydromotoru a pístnice se přesunula do polohy silové rovnováhy od redukčního ventilu a hydraulického akumulátoru. Rovnováha sil je znázorněna v grafu č. 7. Domněnka rovnováhy sil vedoucí k regulaci polohy, která byla předpokládána ze simulační části pro obvod dopředného řízení, byla tímto potvrzena.

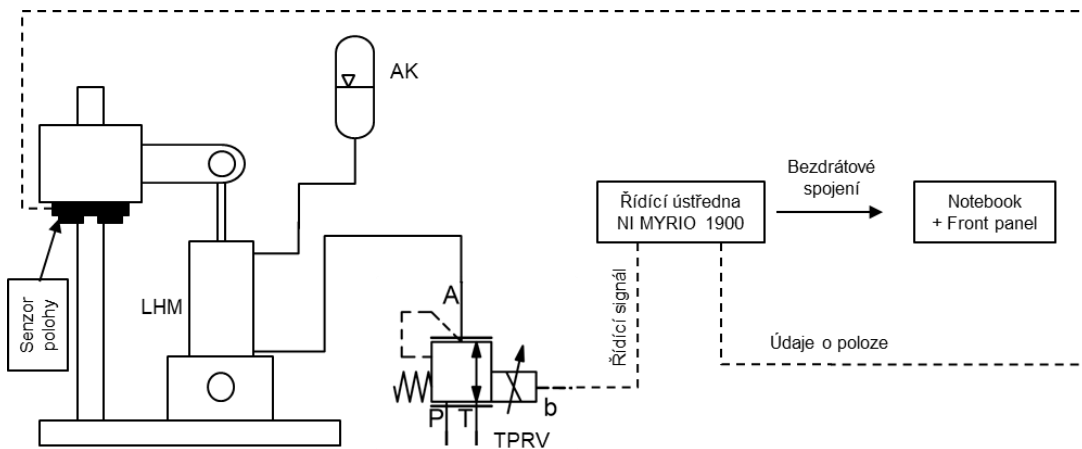
6.2 Hydraulický obvod pro zpětnovazební řízení

Přípravený a ověřený hydraulický obvod z předchozí kapitoly 6.1 je zapotřebí opatřit o řídicí část zajišťující zpětnou vazbu obvodu. Celý zkompletovaný hydraulický obvod je znázorněn na (Obr. 36). Nejdůležitějším prvkem celé řídicí části je řídicí ústředna NI MYRIO 1900 [25]. Zjednodušené schéma provedení zapojení řídicí části je na (Obr. 37).



Obr. 36 - Hydraulický obvod se zpětnovazebním řízením

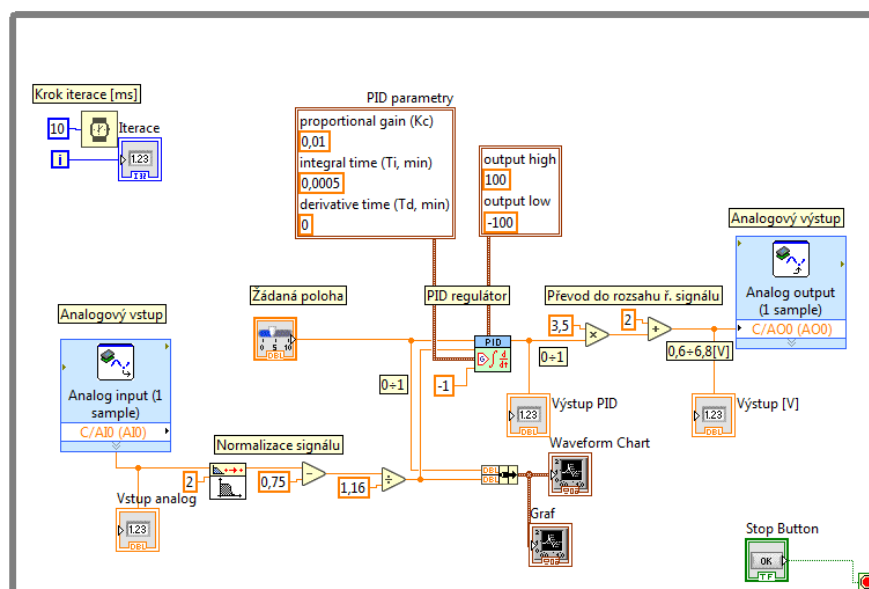
(AK – akumulátor, EL7-I – řídicí jednotka, HG – hydrogenerátor, JV – jednosměrný ventil, LHM – lineární hydromotor, P1, P2, P3 – manometry, ŘÚ – řídicí ústředna, SP – senzor polohy, ŠV – škrťací ventil, TPRV – třícestný proporcionální škrťací ventil)



Obr. 37 - Zjednodušené schéma zapojení řídicí části

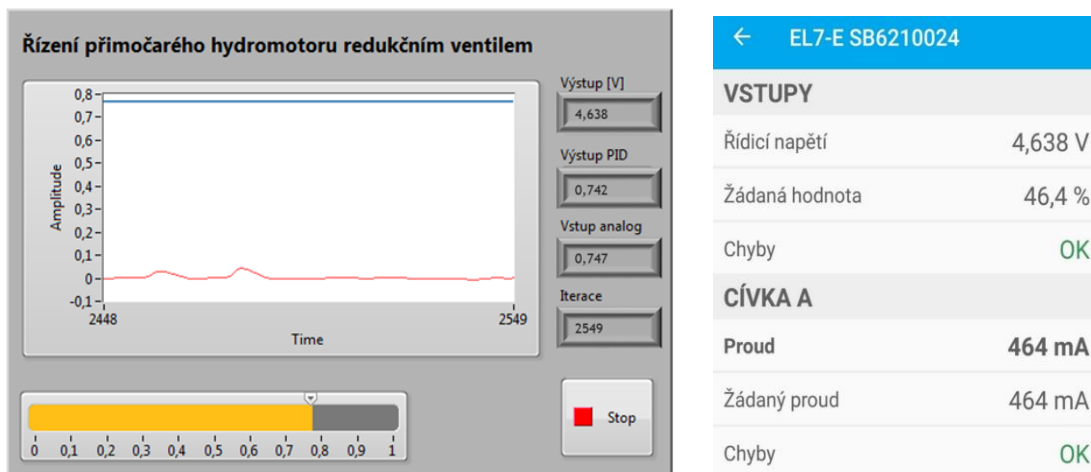
(AK – akumulátor, LHM – lineární hydromotor, TPRV – třícestný proporcionální škrťací ventil)

Řídicí ústředna bezdrátově komunikuje s notebookem, kde je nainstalovaný příslušný program LabVIEW, ve kterém je vytvořeno jednoduché blokové schéma (Obr. 38). Aby bylo možné tento obvod ovládat, je v programu LabVIEW vytvořen ovládací panel (Obr. 39), kde jsou nastavovány počáteční hodnoty žádané polohy v rozmezí 0 až 1. Řídicí ústřednou je nastavená hodnota převedena na elektrický analogový řídicí signál 0 až 10 V, kterým je přestaveno šoupátko třícestného proporcionálního redukčního ventilu. Píst zareaguje zasunutím na polohu, kde dojde k vyrovnání hydraulických sil.



Obr. 38 - Blokové schéma řídicí části

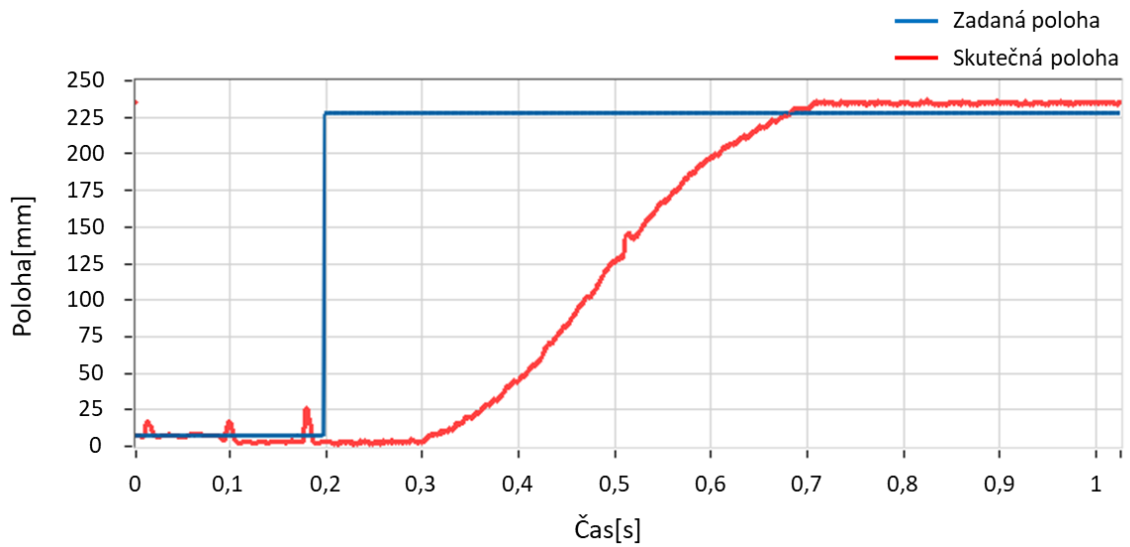
Díky možnosti propojení třicestného proporcionálního redukčního ventilu přes bluetooth s mobilní aplikací je možné provádět kontrolu hodnot zobrazených na ovládacím panelu s hodnotami s mobilní aplikace (Obr. 39).



Obr. 39 - Ovládací panel a kontrola v mobilní aplikaci

Měření polohy pístu je zajištěno senzorem SHARP GP2Y0A21YK0F (rozsah 100 až 800 mm) [26], který je napojen na řídicí ústřednu a upevněn na lineární vedení připojené k pístnici přímočarého hydromotoru. Senzorem je odměřována vzdálenost pístní tyče od základní roviny.

Údaje o poloze pístní tyče jsou zaznamenávány pomocí řídicí ústředny. Řídicí ústředna údaje o poloze zpracovává v signálním schématu. Vyhodnocené údaje jsou řídicí ústřednou opět jako elektrický analogový řídicí signál posílaný do třicestného proporcionálního redukčního ventilu. Silová rovnováha (od řídicího solenoidu a výstupního tlaku) se projeví na šoupátku a tím dojde k rovnováze hydraulických sil na pístu přímočarého hydromotoru. Tyto výpočty jsou prováděny opakovaně v taktu 10 ms, čímž je zajištěno plynulé řízení obvodu. Získané hodnoty jsou řídicí ústřednou zaznamenávány a v programu LabWIEV vykreslovány do grafu č. 8 znázorňující závislost polohy pístní tyče na čase.



Graf 8 - Závislost polohy pístní tyče na čase

Na grafu č. 8 je patrná trajektorie pohybu přímočarého hydromotoru na požadovanou polohu 225 mm. Hydromotor dosáhne polohy za dobu 0,5 s a v této poloze setrvá. Takto provedeným pokusem byl prokázán předpoklad, že lze řídit lineární hydromotor třicícestným proporcionálním redukčním ventilem.

7 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo ověření teorie, že lze nahradit plný můstek třícestným proporcionálním redukčním ventilem, kterým je zajištěno řízení polohy lineárního hydromotoru.

Rešerše je věnována plnému můstku, řešení funkčnosti a konstrukčnímu uspořádání redukčního ventilu a jeho proporcionální varianty. Je provedeno shrnutí podobnosti plného můstku s třícestným proporcionálním redukčním ventilem. V další části rešerše bylo zmíněno o způsobech vytváření simulačních modelů a programech pro vytváření signálních schémat. K sestavení signálních schémat připadaly v úvahu programy LMS Amesim, SimulationX, a Matlab, které byly porovnány a zhodnoceny v tabulce. Z uvedených programů pak byl vybrán vhodný simulační program. Nejvhodnější z hodnocených programů se jevil Simulation X. S ohledem na licenci pro ČVUT bez omezení byl pro akademické účely použit Matlab.

V praktické části byla postupně ověřována dílčí simulační schémata v Matlabu. Ověřování probíhalo na dopředném řízení, zpětnovazebním řízení s ideálním zdrojem tlaku a nakonec na zpětnovazebním řízení s reálnými parametry ventilu. Provedením simulace servomechanismu s ideálním zdrojem tlaku pro dopředné řízení bylo zjištěno, že se jedná o systém prvního řádu. Z tohoto důvodu bylo možné schéma rozšířit o řídicí část přidáním PID regulátoru obsahující pouze integrační složku. Výstupem simulace servomechanismu zpětnovazebního řízení s ideálním zdrojem tlaku je graf, zobrazující polohu pístu v závislosti na čase. Z grafu je patrné, že regulační schéma funguje podle předpokladů. K vytvoření servomechanismu pro zpětnovazební řízení s reálnými podmínkami ventilu byl vytvořen blok, reprezentující třícestný proporcionální redukční ventil. V tomto bloku byl použit programovatelný blok 2D-Lookup table, do kterého se zapsala nalezená data z katalogového listu charakteristik pro zvolený ventil PVRM3-103. Stejně jako u simulace servomechanismu s ideálním zdrojem tlaku, tak i u simulace servomechanismu zpětnovazebního řízení s reálnými parametry ventilu je výstupem graf polohy pístu v závislosti na čase. Z grafu je patrné, že regulační schéma opět funguje podle předpokladů.

Získané představy o chování servomechanismu ze simulační části byly ověřeny na reálném hydraulickém obvodu. V prvním kroku byl vytvořen hydraulický obvod pro



dopředné řízení, na kterém byla dokázána funkčnost hydraulického obvodu. Ovládání třícestného proporcionálního redukčního ventilu probíhalo přes mobilní aplikaci ARGO-HYTOS. V druhém kroku byl hydraulický obvod pro dopředné řízení rozšířen o řídicí část zajištěnou řídicí ústřednou NI MYRIO 1900. Měření polohy pístní tyče bylo zajištěno senzorem SHARP GP2Y0A21YK0F, který byl napojen na řídicí ústřednu. Údaje o poloze pístu byly zaznamenávány a vyhodnocovány v řídicí ústředně. Výstupem byl graf, zobrazující polohu pístní tyče v závislosti na čase.

Předpoklad, že plný můstek může být nahrazen pomocí třícestného proporcionálního redukčního ventilu k řízení lineárního hydromotoru, se podařil potvrdit. Pro potřeby k ověření teorie, bylo provedení naladění celé soustavy dostačující. Dále se podařilo docílit představy o zredukování použitých komponent v hydraulickém obvodu na polovinu. Jako možnou úpravu bych navrhoval přesněji naladit PID regulátor a použít lepší senzor polohy. Tím by bylo možné dosáhnout rychlejší odezvy obvodu na změnu žádané polohy, lepší stability soustavy a přesnějšího polohování. Dále by bylo vhodné na práci pokračovat přidáním druhého třícestného proporcionálního redukčního ventilu.



Seznam použité literatury

- [1] NOSKIEVIČ, Petr. Control of Linear Hydraulic Actuator using the full Hydraulic Bridge. In: *2018 19th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM): 2018 19th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM)* [online]. 2018, s. 52–57. ISSN null. Dostupné z: doi:10.1109/REM.2018.8421791
- [2] ŠKOPÁN, Miroslav. *Hydraulické pohony strojů*. Studijní text – sylabus. Brno: Ústav dopravní techniky, VUT Brno, listopad, 2004
- [3] Noskievič, P. 1999. *Modelování a identifikace systémů*. I. vyd.: Montanex a.s. Ostrava, 1999. ISBN 80-7225-030-2
- [4] MORAVEC, Jan. *Pohony výrobních strojů - servomechanismy III.: Hydraulické Servomechanismy 2019* [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ú12135, 21.11.2019
- [5] KOŇAŘÍK, Petr. Simulace řízení hydraulického pohonu kombinací ventilů hydraulických půlmůstek [online]. [cit. 2020-11-7]. Dostupné z : http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/MATLAB05/prispevky/knarik/konarik.pdf
- [6] FESTO. Ventil: Festo Motion Terminal [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.festo.com/vtem/cs/cms/10237.htm>
- [7] PIVOŇKA, Josef. a kol.: *Tekutinové mechanismy*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987. Typové číslo: L13-E1-V-31f/22656.
- [8] FESTO. *Learning Systems 2011/2012: The current range of products from Festo Didactic* [online]. Copyright © 2011, s. 62 [cit. 2020-10-20]. Dostupné z: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/didactic_katalog_2011_en_monitor.pdf
- [9] MALÝ, Přemysl. *Proporcionální technika v hydraulice* [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupný z: <http://www.cahp.cz/wp-content/2014/06/1.p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ka-Ing-Mal%C3%BDCSc.pptx>

-
- [10] ARGO-HYTOS s.r.o. Proportional Reducing Valves PVRM3-10: Katalog. In: *ARGO-HYTOS* [online]. 11/2011 [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: http://www.argo-hytos.com/fileadmin/user_upload/products/valves/downloads/Katalog_PVRM310_hc5118_CZ.pdf
- [11] ARGO-HYTOS s.r.o. Vestavný proporcionální tlakový redukční ventil, přímo řízený PVRM3-103: Katalog. In: *ARGO-HYTOS* [online]. 02/2019 [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: https://www.argo-hytos.com/fileadmin/user_upload/products/valves/downloads/Katalog_PVRM3-103_hc5118_CZ.pdf
- [12] DORDA, Michal. Úvod do modelování a simulace systémů [online]. Vysoká škola báňská v Ostravě [cit. 2015-11-14]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~dor028/Aplikace_2.pdf
- [13] Kolektiv autorů. Dohoda o chápání pojmu simulace systémů. *Automatizace*, 1986, roč. 29, č. 12, s. 299–300.
- [14] Skalický, J.: *Teorie řízení*, skripta FEKT, 2002
- [15] HOFREITER, Milan. *Základy automatického řízení*. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 978-80-01-06380-4.
- [16] NOSKIEVIČ, Petr. Model proporcionálního tlakového ventilu v programu MATLAB-Simulink. In: *Sborník příspěvků 8. ročníku konference MATLAB 2000*. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2000. s. 282-287. ISBN 80-7080-401-7.
- [17] AMBLER, Scott W. *The Object Primer: Agile Model-Driven Development with UML 2.0*. 3. edition. Cambridge University Press, 2004. s. 296-301 ISBN 0521540186.
- [18] MATHWORKS. Represent Operating Modes by Using States. In: MathWorks® [online]. Copyright © 1994-2021 [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/stateflow/ug/working-with-states-in-charts.html>
- [19] MATHWORKS. Physical Modeling. In: MathWorks® [online]. Copyright © 1994-2021 [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/stateflow/ug/working-with-states-in-charts.html>
-

- [20] SIEMENS. Simcenter Amesim Student Edition [online]. Copyright © 2016 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. [cit. 2020-12-5]. Dostupné z:
https://www.plm.automation.siemens.com/plmapp/education/simcenter/en_us/free-software/student
- [21] ESI. SimulationX: User Manual [online]. © Copyright ESI ITI GmbH, 2016
- [22] MATHWORKS. Simscape. In: MathWorks® [online]. Copyright © 1994-2021 [cit. 2020-12-10]. Dostupné z:
<https://www.mathworks.com/help/stateflow/ug/working-with-states-in-charts.html>.
- [23] MATHWORKS. Open PID Tuner. In: MathWorks® [online]. Copyright © 1994-2021 [cit. 2021-01-09]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/slcontrol/ug/designing-controllers-with-the-pid-tuner.html>
- [24] ARGO-HYTOS s.r.o. Digitální řídicí elektronika v provedení nástrčky DIN konektoru EL7-I: Katalog. In: *ARGO-HYTOS* [online]. 4/2021 [cit. 2021-04-30]. Dostupné z: https://www.argo-hytos.com/fileadmin/user_upload/manual_EL7-I_19151_EN_DE_CZ.pdf
- [25] NATIONAL INSTRUMENTS. NI MYRIO-1900: User guide and specification [online]. © 2013–2018 National Instruments. [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.ni.com/pdf/manuals/376047c.pdf>
- [26] SHARP. Datasheet Sharp GP2Y0A21YK0F [online]. [cit. 2021-05-15]. Dostupné z:
https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf
-

Seznam použitého softwaru

- EL7-I – ARGO-HYTOS
- LabVIEW
- LMS Imagine.Lab Amesim Student Edition Rev 13 SL3
- MATLAB R2019b
- Scheme Editor 6.3
- SimulationX 3.9

Seznam obrázků

Obr. 1 - Čtyřcestný proporcionální ventil [4]	16
Obr. 2 - Plný můstek [5]	16
Obr. 3 - Půlmůstek a charakteristické veličiny [5].....	17
Obr. 4 - Ventil Motion Terminal Festo [6]	17
Obr. 5 - Schéma můstku vně ventilu [6]	17
Obr. 6 - Náhrada půlmůstku za třícestný proporcionální redukční ventil [2]	18
Obr. 7 - Konstrukce třícestného redukčního ventilu [8]	20
Obr. 8 - Konstrukce dvoucestného redukčního ventilu [8].....	20
Obr. 9 - Zjednodušená představa proporcionálního rozvaděče [9].....	21
Obr. 10 - Třícestný proporcionální redukční ventil PVRM3-103 [10]	22
Obr. 11 - Redukovaný tlak v závislosti na budícím proudu [11]	22
Obr. 12 - Tlakové ztráty v závislosti na objemovém průtoku [11]	23
Obr. 13 - Ilustrační model bloku [15]	25
Obr. 14 - Submodel šoupátka ventilu [16]	25
Obr. 15 - Příklad stavového schéma [18].....	26
Obr. 16 - Příklad signálního schéma	26
Obr. 17 - Ukázka prostředí LMS Amesim.....	27
Obr. 18 - Ukázka prostředí SimulationX.....	28
Obr. 19 - Ukázka prostředí Simscape Matlab Toolbox.....	29
Obr. 20 - Funkční schéma se zjednodušením na jeden půlmůstek (TPRV).....	31
Obr. 21 - Servomechanismus s ideálním zdrojem tlaku - dopředné řízení.....	32
Obr. 22 - Servomechanismus s ideálním zdrojem tlaku - zpětnovazební řízení	33
Obr. 23 - Linearizovaný model v pracovním bodě - ideální parametry	34
Obr. 24 - Naladěný regulátor - ideální parametry	35
Obr. 25 - Redukovaný tlak v závislosti na budícím proudu a tlakové ztráty v závislosti na objemovém průtoku [11]	36
Obr. 26 - Blokové schéma tlakové charakteristiky.....	37
Obr. 27 - Blokové schéma ověření funkčnosti 2-D Lookup Table	37
Obr. 28 - Model třícestného proporcionálního redukčního ventilu	38
Obr. 29 - Servomechanismus s reálným zdrojem tlaku.....	39



Obr. 30 - Linearizovaný model v pracovním bodě - reálné parametry.....	40
Obr. 31 - Naladěný regulátor - reálné parametry.....	40
Obr. 32 - Hydraulické schéma.....	43
Obr. 33 - Třícestný proporcionální ventil s řídicí jednotkou EL7-I.....	44
Obr. 34 - Hydraulický obvod dopředného řízení.....	45
Obr. 35 - Ruční nastavení v mobilní aplikaci ARGO HYTOS	46
Obr. 36 - Hydraulický obvod se zpětnovazebním řízením.....	47
Obr. 37 - Zjednodušené schéma zapojení řídicí části	48
Obr. 38 - Blokované schéma řídicí části	48
Obr. 39 - Ovládací panel a kontrola v mobilní aplikaci	49



Seznam tabulek a grafů

Tabulka 1 - Porovnání simulačních programů.....	30
Graf 1 - Poloha pístu	33
Graf 2 - Rovnováha síly (SílaH a SílaM)	33
Graf 3 - Poloha pístu - ideální parametry	35
Graf 4 - Závislost redukovaného tlaku v závislosti na řídicím signálu	38
Graf 5 - Poloha pístu - reálné parametry	41
Graf 6 - Poloha pístu - ideální/reálné parametry	42
Graf 7 - Rovnováha hydraulických sil na pístu přímočarého hydromotoru	46
Graf 8 - Závislost polohy pístní tyče na čase.....	50

Seznam příloh

Textové přílohy

Příloha 1: Technický list ventilu PVRM3-103

Příloha 2: Technický list řídicí elektroniky EL7-I

Příloha 3: Technický list infračerveného senzoru SHARP GP2Y0A21YK0F

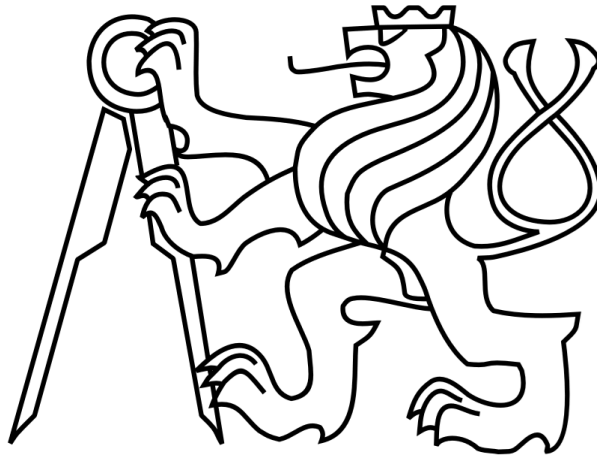
Elektronické přílohy (na CD)

BP_JiraneK	Text bakalářské práce (.pdf)
Katalog_PVRM3-103_CZ	Technický list ventilu PVRM3-103 (.pdf)
Katalog_EL7-I_CZ	Technický list řídicí elektroniky EL7-I (.pdf)
Katalog_SHARP_senzor	Technický list infračerveného senzoru SHARP GP2Y0A21YK0F (.pdf)

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Bakalářská práce

Řízení lineárního hydromotoru
proporcionálním redukčním ventilem

Textové přílohy



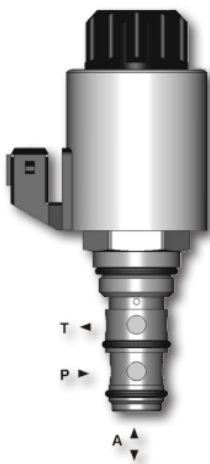
Příloha 1: Technický list ventilu PVRM3-103



Vestavný proporcionální tlakový redukční ventil, přímo řízený

PVRM3-103

M24 x 1,5 • Q_{max} 40 l/min (11 GPM) • p_{max} 90 bar (1300 PSI)



Technické parametry

- › Vynikající stabilita v celém rozsahu průtoku s rychlou odezvou, proporcionálně ke změně velikosti vstupního signálu
- › Nízká hystereze a nízké tlakové ztráty
- › Přesné řízení tlaku elektrickým proudovým DC signálem s vynikající opakovatelností
- › Integrovaná pojistná funkce pro ochranu proti tlakovým špičkám
- › Výběr konektoru cívky elektromagnetu: AMP Junior Timer nebo Deutsch DT04-2P
- › Stejněměrné napájecí napětí cívky 12 V nebo 24 V
- › Ve standardním provedení je povrch ventilu zinkován, odolnost proti korozi 240 h v NSS podle ISO 9227

Popis funkce

Vestavný, přímo řízený, proporcionální tlakový redukční ventil šoupátkové konstrukce. Ventil udržuje konstantní tlak na výstupu (A), úměrný velikosti vstupního řídicího proudového signálu. Při přetížení spotřebiče je obvod chráněn proti poškození vysokým tlakem propojením s nádrží (kanálem T).
Poznámka: Pro speciální OEM verze tohoto výrobku se obraťte na výrobce.

Kód provedení	bez ochranného sítka
Symbol	

Technická data

Připojovací závit / komora	M24 x 1,5 / QJ3			
Max. provozní tlak v kanálu P	bar (PSI)	50 (730)		90 (1305)
Max. redukovaný tlak v kanálu A	bar (PSI)	18 (260)	20 (290)	30 (435) 80 (1160)
Max. průtok ve směru P-A	l/min (GPM)	40 (11)		
Rozsah provozní teploty kapaliny (NBR)	°C (°F)	-30 ... +90 (-22 ... +194), +100 (212) krátkodobě		
Rozsah provozní teploty kapaliny (FPM)	°C (°F)	-20 ... +90 (-4 ... +194), +100 (212) krátkodobě		
Rozsah teploty okolí	°C (°F)	-30 ... +90 (-22 ... +194), +100 (212) krátkodobě		
Odezva při signálu 100 %	ms	< 50		
Údaje elektromagnetu				
Napájecí napětí	V	12 DC	24 DC	
Max. proud	A	1,5	1	
Jmenovitý odpor při 20 °C (68 °F)	Ω	5±6,5 %	13,4±6,5 %	
Pracovní cyklus	%	100		
Optimální frekvence PWM	Hz	150		
Zhášecí dioda		BZW06-28B	BZW06-33B	
Stupeň krytí podle EN 60529**		(dle typu konektoru) IP67 / IP69K		
Hmotnost s elektromagnetem	kg (lbs)	0,4 (0.88)		

	Katalogový list	Typ
Všeobecné technické informace	GI_0060	výrobky a pracovní podmínky
Výkres komory	SMT_0019	SMT-QJ3*
Náhradní díly	SP_8010	

** Uvedený stupeň krytí IP je platný pouze v případě správně připevněného konektoru.

Rozměry v milimetrech (in)

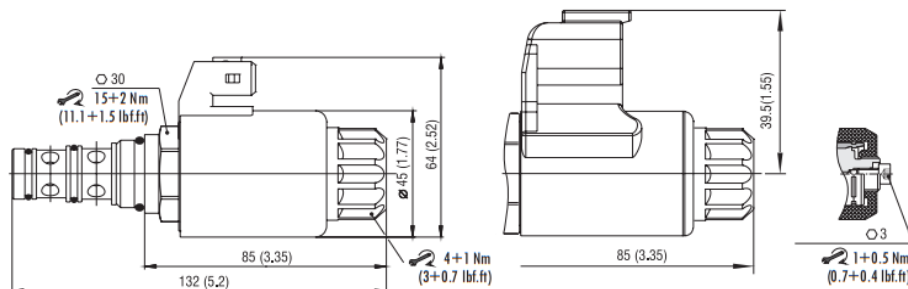
Provedení konektoru cívky

E3, E4 - IP67
AMP Junior Timer

E12A, E13A - IP67 / IP69K
Deutsch DT04-2P

Odvzdušňovací šroub

jen pro verzi
s redukovaným tlakem
80 bar





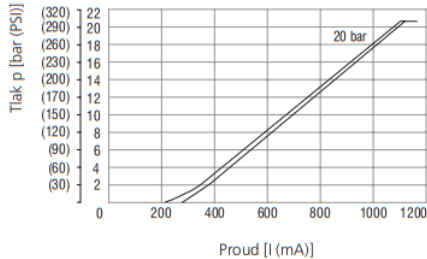
Příloha 1: Technický list ventilu PVRM3-103



Charakteristiky měřeno při $v = 32 \text{ mm}^2/\text{s}$ (156 SUS)

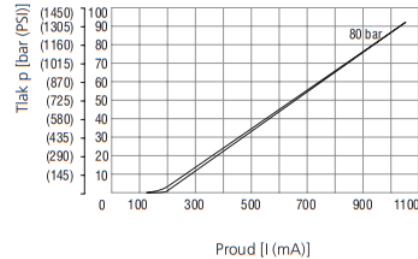
Redukovaný tlak v závislosti na budícím proudu

Kanál A, rozsah tlaku 0-20 bar (290 PSI), $Q = 0 \text{ l/min}$ (GPM)
Kanál P, vstupní tlak 50 bar (730 PSI)



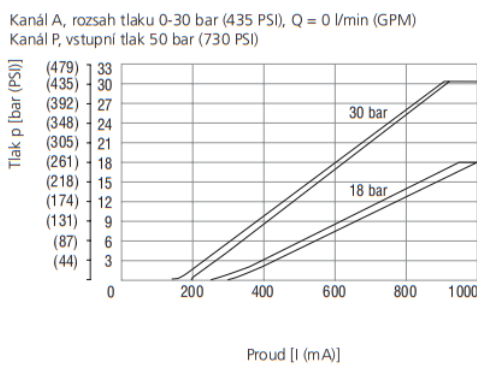
Redukovaný tlak v závislosti na budícím proudu

Kanál A, rozsah tlaku 0-80 bar (1160 PSI), $Q = 0 \text{ l/min}$ (GPM)
Kanál P, vstupní tlak 90 bar (1305 PSI)



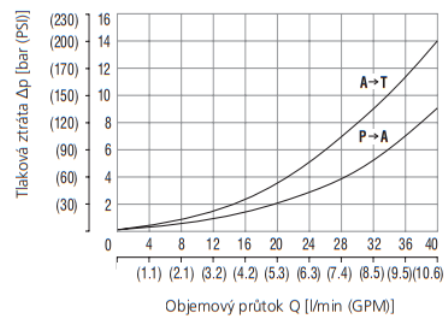
Redukovaný tlak v závislosti na budícím proudu

Kanál A, rozsah tlaku 0-18 bar (260 PSI), $Q = 0 \text{ l/min}$ (GPM)
Kanál P, vstupní tlak 50 bar (730 PSI)



Tlakové ztráty v závislosti na objemovém průtoku

A-T, cívka ventilu deaktivována (pojistná funkce)
P-A, cívka ventilu aktivována (funkce redukce tlaku)



Objednací klíč

PVRM3 - 103 / S - [] - [] - [] - []

Vestavný proporcionální tlakový redukční ventil, přímo řízený

Typ vestavné komory
M24 x 1,5 / QJ3

Provedení
vestavné do bloku

Max. redukovaný tlak
18 bar (260 PSI) 18
20 bar (290 PSI) 20
30 bar (435 PSI) 30
80 bar (1160 PSI) 80

Napájecí napětí
12 V DC / 1,5 A 12
24 V DC / 1 A 24

Povrchová ochrana
A zinkováním - 240 h v NSS dle ISO 9227
B zinkováním - 520 h v NSS dle ISO 9227

Bez označení
V

Materiál těsnění
NBR
FPM (Viton)

Provedení konektorů cívky
E3A AMP Junior Timer - axiální směr (2 kolký)
E3A se zářecí diodou
E12A Deutsch DT04-2P - axiální směr
E13A E12A se zářecí diodou



Příloha 2: Technický list řídicí elektroniky EL7-I



Digitální řídicí elektronika v provedení nástrčky DIN konektoru

EL7-I

Technické parametry



- › Digitální elektronická řídicí jednotka v provedení nástrčky DIN konektoru pro řízení hydraulických ventilů s jedním nebo dvěma elektromagnety
- › Široký rozsah napájecího napětí 9 až 32 V DC
- › Snadné nastavování parametrů přes Bluetooth – class 2
- › Aplikace pro Android + iOS pro nastavování a monitorování parametrů, vhodná také pro servisní zásahy
- › Řízení vstupním analogovým signálem nebo připojením na sběrnici CAN (protokol EN 50325-4 + DS408)
- › Výběr volitelných typů vstupního řídicího signálu
- › Široký rozsah nastavení frekvence výstupního PWM signálu na cívky elektromagnetů 80 až 1000 Hz
- › Dynamické mazání – nastavitelná amplituda a frekvence pro každý elektromagnet zvlášť (při pevné frekvenci PWM 15 kHz)
- › Odolnost proti rušení, elektrostatickému výboji a rychlým přechodovým jevům
- › Odolnost proti mechanickým rázům a vibracím
- › Flexibilní a spolehlivá funkce systému dosažená použitím rychlého 32-bitového ultra-low-power procesoru
- › Vysoké rozlišení a přesnost převodu vstupního analogového signálu zajišťuje 12-bitový A/D převodník

Popis funkce

Elektronická jednotka je určena pro řízení proporcionálních ventilů s jedním nebo dvěma ovládacími elektromagnety v otevřené regulační smyčce bez zpětné vazby. Výhodou je miniaturní provedení v podobě nástrčky DIN konektoru a jednoduchá montáž na ventil. U ventilů s jedním elektromagnetem se Elektronika nasadí na patku konektoru EN 175301-803-A na dvce elektromagnetu. U ventilů se dvěma elektromagnety je propojena nástrčka konektoru druhé cívky s elektronikou kabelem. Napájení elektroniky napětím 9 až 32 V DC a přenos vstupního signálu zajišťuje pětikolíkový konektor se závitem M12 x 1. Nastavování parametrů, jako např. výběr typu řídicího signálu, nastavení rampy nebo frekvence výstupního PWM signálu, se provádí pomocí Bluetooth v aplikaci určené pro instalaci na Android a iOS. Aplikace zároveň umožňuje monitorování parametrů, což je výhodné zvláště při zprovoznování zařízení a servisu. Řízení cívek elektromagnetů PWM signálem snižuje spotřebu energie, ohřev cívky, hysterezi a zvyšuje přesnost řízení.

Technická data

Provozní napájecí napětí Ucc	V DC	9 ... 32	
Referenční napětí Uref	V DC	5	
Max. proud pro Uref	mA	20	
Typy řídicího signálu (viz tabulka na str. 3)		0 ... 20 mA, 4 ... 20 mA, 0 ... +5 V DC, ± 5 V DC, 0 ... 10 V DC, ± 10 V DC, Ucc/2 ± 5 V DC, Ucc/2 ± 10 V DC	
Max. výstupní proud / 1 cívka	A	3	
Frekvence PWM	Hz	80 ... 1000	
Rozlišení A/D převodníků	bit	12	
Funkce ramp	s	0 ... 45	
Dynamické mazání – amplituda*	% z Imax	0 ... 30 % z Imax	
Dynamické mazání – frekvence*	Hz	60 ... 300	
Linearity	%	1	
Provozní teplota okolí	°C (°F)	-40 ... +80 (-40 ... +176)	
Elektrické krytí dle EN 60529		IP65 / IP67	
Hmotnost	kg (lbs)	0,06 (0.13) 0,10 (0.22)	
Nominální napětí cívky	V	12 DC 24 DC	
Mezní proud cívkou ventilu	PRM2-04	(cívka 16186100) ... 1,7	(cívka 16186200) ... 0,8
	PRM2-06	(cívka 16187500) ... 1,6	(cívka 16186800) ... 1,0
	PRM6-10	(cívka 16195800) ... 1,9	(cívka 16196200) ... 1,1
	PRL1-06	-	-
	PRL2-06	-	-

*Při aktivaci dynamického mazání je frekvence PWM automaticky nastavena na 15kHz

Provedené typové zkoušky

1. Odolnost proti rušení a elektrická pevnost

Norma	Název normy
DIN EN 61000-4-2	Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji
DIN EN 61000-4-3	Zkouška odolnosti proti vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli
DIN EN 61000-4-4	Zkouška odolnosti proti rychlým elektrickým přechodovým jevům
DIN EN 61000-4-5	Zkouška odolnosti proti rázovému impulzu
DIN EN 61000-4-6	Zkouška odolnosti proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli
DIN EN 61000-4-8	Zkouška odolnosti proti magnetickému poli síťového kmitočtu

2. Elektromagnetická kompatibilita (EMC)

EN 61000-6-2	Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 6-2: Kmenové normy - Odolnost pro průmyslové prostředí
EN 61000-6-4	Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 6-4: Kmenové normy - Emise - Průmyslové prostředí

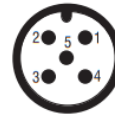
3. Odolnost proti mechanickým rázům a vibracím

Mechanický ráz a vibrace	Vibrace: sinusoida 10g, max. amplituda 0,75 mm, 10-2000 Hz, Mechanické rázy: 30 g, poloviční sinusoida 11 ms
--------------------------	--

Příloha 2: Technický list řídicí elektroniky EL7-I

Zapojení elektronické řídicí jednotky
Zapojení konektoru

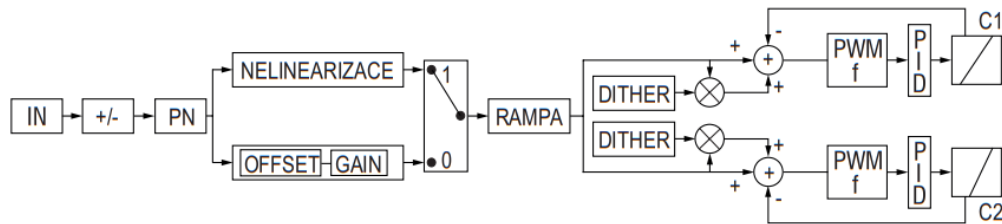
Číslo pinu	Vstupní analogový signál	Připojení na sběrnici CAN
1	Napájení +Ucc	Napájení +Ucc
2	Napájení GND	Napájení GND
3	Vstupní řídicí signál	CAN GND
4	Řídicí signál GND	CAN HIGH
5	Výstup Uref = 5 V DC	CAN LOW


Signalizace režimu pomocí LED

LED	Význam
Zelená (PWR)	Rozsvícená LED signalizuje napájení (Ucc), bliká při napájecím napětí menším než 9 nebo větším než 32 V
Modrá (BT)	LED bliká – Bluetooth nespárováno / LED svítí – Bluetooth spárováno
Červená (ERR)	LED svítí – chybový stav (proudový signál mimo stanovený rozsah, odpojená cívka elektromagnetu)

Blokové schéma EL7

IN výběr typu vstupního signálu (a typu řízeného ventilu)
 +/- invertování vstupního signálu
 PN nastavení pásma necitlivosti
 OFFSET nastavení polohy charakteristiky
 GAIN nastavení zesílení



RAMPA 0 - 45 s
 DITHER 60 - 300 Hz / 0 - 30 % amplitudy
 PWM frekvence 80 - 1000 Hz / 15 kHz při použití dynamického mazání
 PID nastavení parametrů PID regulátoru
 C1, C2 cívky elektromagnetů ventilů

Napájecí napětí	9 ... 32 V DC
Pracovní teplota	-40 ... +80 °C (-40 ... +176)

Nastavitelné parametry elektroniky
Nastavení typu řídicího signálu

Typ ventilu	Typ EL7	Řídicí signál
S jedním elektromagnetem a analogovým vstupem	EL7-IA-1	0 ... 20 mA 4 ... 20 mA 0 ± 10 mA -10 ... +10 V DC 0 ± 10 V DC Ucc/2 ± 10 V DC Ucc/2 ± 5 V DC 0 ... 5 V DC*
Se dvěma elektromagnety a analogovým vstupem	EL7-IA-2	10 ± 10 mA 12 ± 8 mA 0 ± 10 mA 5 ± 5 V DC 0 ± 10 V DC Ucc/2 ± 10 V DC Ucc/2 ± 5 V DC 2,5 ± 2,5 V DC*
S bipolárním lineárním motorem a analogovým vstupem	EL7-IA-3	
S jedním elektromagnetem a digitálním vstupem (CAN)	EL7-IC-1	
Se dvěma elektromagnety a digitálním vstupem (CAN)	EL7-IC-2	Výběr řídicího signálu se neprovádí. Je generován v digitální podobě řídicí jednotkou stroje.
S bipolárním lineárním motorem a digitálním vstupem (CAN)	EL7-IC-3	

* vstupy primárně určené pro řízení z Uref

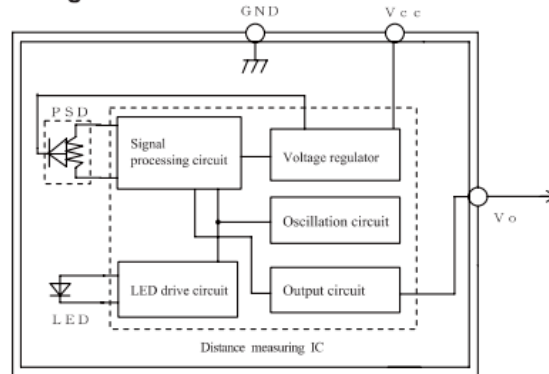


Příloha 3: Technický list infračerveného senzoru SHARP GP2Y0A21YK0F

SHARP

GP2Y0A21YK0F

■ Block diagram



■ Outline Dimensions

(Unit : mm)

(Stamp)

Stamp(Example)
~~SHARP~~
GP2Y0A21 F
 Model name
 4 Z
 Month(1 to 9,X,Y,Z)
 Year(2005:5)

Light emitter
 Light detector
 Lens case
 Connector
 PWB

Connector signal

signal name	Connector :
① Vo	Shenglan Technology Co.,Ltd
② GND	(JCTC)
③ Vcc	12001W90-3P-HF

Materials
 Lens :Acrylic acid resin
 (Visible light cut-off resin)
 Case :Carbonic ABS
 (Conductive resin)
 PWB :Paper phenol

Note 1. The dimensions marked * are described the dimensions of lens center position.
 Note 2. Unspecified tolerances shall be ± 0.3 mm.
 Note 3. The dimensions in parenthesis are shown for reference.

Product mass : Approx. 3.6g



Příloha 3: Technický list infračerveného senzoru SHARP GP2Y0A21YK0F

SHARP

GP2Y0A21YK0F

■ **Absolute Maximum Ratings** (T_a=25°C, V_{CC}=5V)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V _{CC}	-0.3 to +7	V
Output terminal voltage	V _O	-0.3 to V _{CC} +0.3	V
Operating temperature	T _{opr}	-10 to +60	°C
Storage temperature	T _{stg}	-40 to +70	°C

■ **Electro-optical Characteristics** (T_a=25°C, V_{CC}=5V)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Average supply current	I _{CC}	L=80cm (Note 1)	—	30	40	mA
Distance measuring	ΔL	(Note 1)	10	—	80	cm
Output voltage	V _O	L=80cm (Note 1)	0.25	0.4	0.55	V
Output voltage differential	ΔV _O	Output voltage difference between L=10cm and L=80cm (Note 1)	1.65	1.9	2.15	V

* L : Distance to reflective object

Note 1 : Using reflective object : White paper (Made by Kodak Co., Ltd. gray cards R-27·white face, reflectance; 90%)

■ **Recommended operating conditions**

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V _{CC}	4.5 to 5.5	V