

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ ÚSTAV
AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

ŘÍZENÍ POLOHOVÉHO SERVOMECHANISMU S NESPOJITOU NEPŘESTAVNOU RYCHLOSTÍ

POSITION CONTROL OF SERVO WITH DISCONTINUOUS RECHANGEABLE SPEED

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Pavel Jindra

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. Ing. ZDENĚK NĚMEC, Csc.

BRNO 2012

ZADÁNÍ ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Pavel Jindra

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

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

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

Řízení polohového servomechanismu s nespojitou přestavnou rychlostí.

v anglickém jazyce:

Position control of servo with discontinuous rechangeable speed

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkol řeší polohovou regulaci servomotoru, který je ovládán tlakovým olejem. Místo klasického řízení spojitě proměnným průtokem je požadováno jednodušší řízení prostřednictvím třístavových elektromagnetických rozvaděčů.

Cíle diplomové práce:

1. Osvojit si práci s programovatelným automatem Simatic S7-224XP a s operátorským panelem TP 177 Micro.
2. Zpracovat pro výše uvedené prostředky uživatelské programy pro polohovou regulaci, včetně styku s obsluhou.
3. Jako regulovanou soustavu uvažujte pístový servomotor a k ovládní oleje použijte dva nebo tři paralelně zapojené třístavové elektromagnetické rozvaděče.
4. Činnost regulované soustavy nahraďte simulací v prostředí Matlab-Simulink. Pro účely ověření návrhu realizujte propojení modelu soustavy s řídicím automatem.
5. Analyzujte vlastnosti a kvalitu nespojitě pracujícího servomechanismu, například pro řízení vodních turbín. Srovnajte vůči klasickému řešení se spojitou činností.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma ŘÍZENÍ POLOHOVÉHO SERVOMECHANISMU S NESPOJITOU NEPŘESTAVNPU RYCHLAOSTÍ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetí osoby, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv a osobních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení §11 a následujících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

ABSTRAKT

Diplomová práce obsahuje simulaci náhrady spojitého řízení za nespojitě. Cílem práce je řešení polohové regulace pístového servomotoru, který je ovládán přepouštěním tlakového oleje za pomoci několika elektromagneticky ovládaných rozvaděčů s clonami ve výstupních kanálech. Ověření činnosti regulované soustavy je provedeno pomocí simulace v prostředí Matlab/Simulink a prvků Matlab/Simulink, Matlab/Hydrosim. Požadavkem na vytvořený model je ověřit chování soustavy, aby po úpravách mohl být použitelný pro další rozvoj problematiky.

ABSTRACT

Diploma thesis work includes simulation of compensation of control for discrete. The aim of the work is a solution positioning control of servomotor drive piston, which is controlled by pass of the pressure oil with the help of several electromagnetically controlled switchboards with the orifice in the output channels. The verification activities of the regulated system is done using simulation in Matlab/Simulink and Matlab/Simulink, Matlab/Hydrosim. The requirement on the created model is to verify the behavior of the system to be modified to be used for the further development of the issue

KLÍČOVÁ SLOVA

Regulovaná soustava, řídicí obvod, hydraulický obvod, silová část regulace, rozvaděč, Matlab, Simatic S7-200, MicroWIN STEP7, servoválec, servomechanismus

KEYWORDS

The regulated system, control circuit, hydraulic circuit, the force of the regulation, the Distributor, Matlab, Simatic S7-200, STEP7 MicroWIN, servoválec, servo

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Doc. Ing. Zdeňku Němcovi CSc., vedoucímu mé diplomové práce, za odborné vedení, vstřícnost, ochotu a cenné rady. Rád bych také poděkoval své rodině, všem blízkým a přátelům za stálou podporu a toleranci.

OBSAH

1	ÚVOD.....	14
2	ZÁKLADNÍ POJMY A FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI TEKUTIN.....	15
2.1	ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI KAPALIN	15
2.2	VISKOZITA KAPALIN	15
2.3	ZÁKLADNÍ ZÁKONY HYDROMECHANIKY	16
2.3.1	<i>Hydrostatika</i>	<i>16</i>
2.3.2	<i>Hydrodynamika</i>	<i>16</i>
2.4	HYDRAULICKÉ ODPORY	17
2.4.1	<i>Proudění kapaliny v potrubí</i>	<i>17</i>
3	PRVKY POUŽITÉ V MODELU HYDRAULICKÉHO MECHANISMU.....	20
3.1	HYDROGENERÁTOR (HG)	20
3.1.1	<i>Ideální hydrogenerátor (ideální zdroj tlaku)</i>	<i>20</i>
3.1.2	<i>Neideální hydrogenerátor.....</i>	<i>20</i>
3.2	HYDRAULICKÝ ROZVADĚČ.....	21
3.2.1	<i>Šoupátkové rozvaděče.....</i>	<i>23</i>
3.2.2	<i>Sedlové rozvaděče.....</i>	<i>27</i>
3.3	ŠKRTÍCÍ ČLEN SE ZPĚTNÝM VENTILEM	29
3.3.1	<i>Škrtící člen</i>	<i>29</i>
3.3.2	<i>Zpětný ventil</i>	<i>30</i>
3.4	SERVOMOTOR	31
3.4.1	<i>Servoválce.....</i>	<i>31</i>
4	ŘEŠENÍ MODELU HYDRAULICKÉHO OBVODU	33
4.1	PID REGULÁTOR	33
4.1.1	<i>Metody nastavování</i>	<i>39</i>
4.2	HYDRAULICKÝ VÁLEC	40
4.3	ŠOUPÁTKO	41
4.4	CLONA	43
4.4.1	<i>Návrh clon pro obvod s dvěma ventily.....</i>	<i>43</i>
4.4.2	<i>Návrh clon pro obvod se třemi ventily.....</i>	<i>44</i>
4.5	ZPĚTNÝ VENTIL.....	44
4.6	REDUKČNÍ VENTIL	45
5	SIMATIK S7-200	46
5.1	EDITOR LAD	47
5.2	STL = VÝPIS PŘÍKAZŮ	47
5.3	FBD = FUNKČNÍ BLOK	48

6	ŘÍZENÍ HYDRAULICKÉ SOUSTAVY	50
6.1	ŘÍZENÍ VYTVOŘENÉ POMOCÍ MATLAB/SIMULINK	50
6.1.1	<i>Zapojení obvodu převodníku spojitého na nespojitý signál.....</i>	<i>50</i>
6.1.2	<i>Zapojení obvodu rozhodovací blok.....</i>	<i>55</i>
6.2	ŘÍZENÍ POMOCÍ SIMATIC S7-200 A MICROWIN STEP7	56
7	HYDRAULICKÝ OBVOD	61
8	REGULAČNÍ OBVOD POLOH (SERVOMECHANISMUS)	65
8.1	ROZBOR REGULOVANÉ SOUSTAVY	65
8.1.1	<i>Řídící obvod.....</i>	<i>65</i>
8.1.2	<i>Hydraulický obvod.....</i>	<i>65</i>
8.2	CELKOVÝ MODEL REGULOVANÉ POLOHY	66
9	VÝSLEDKY SIMULACÍ.....	73
10	ZÁVĚR.....	76
10.1	ZÁVĚREČNÉ SHRnutí VÝHOD A NEVÝHOD	76
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	77
	ODBORNÁ LITERATURA.....	77
	SEZNAM OBRÁZKŮ	79
	SEZNAM TABULEK.....	80
	SEZNAM GRAFŮ.....	80

1 ÚVOD

Téma diplomové práce jsem si zvolil, protože v sobě kombinuje mechaniku, regulaci a řízení, které mě velmi zajímá pro praktické použití.

Hlavním cílem diplomové práce je řešení polohové regulace pístového servomotoru, který je ovládán tlakovým olejem. V případech, kdy požadujeme rychlé a přesné řízení je dnes využíváno řízení spojitě proměnným průtokem pomocí proporcionální techniky. Při studiu problematiky vyvstala otázka: „Je možné nahradit spojitou regulaci řízením prostřednictvím třístavových elektromagnetických rozvaděčů, které jsou jednodušší a méně náročné na technologii?“ Odpověď na tuto otázku bude zodpovězena v závěru diplomové práce. Vzájemné posouzení kvality polohové regulace v provedení spojitém, nespojitém se dvěma a třemi ventily. Pro zvolenou problematiku jsem využil parametry řízení vodní elektrárny Vír I, která se nachází v mikroregionu Bystřicka.

2 ZÁKLADNÍ POJMY A FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI TEKUTIN

Na začátku, než se zabývat do hloubky danou problematikou je nutné zopakovat základní pojmy a fyzikální vlastnosti tekutin, zákony hydromechaniky. S těmito pojmy se dále setkáváme při nastavování vlastností hydraulických prvků simulace.

2.1 Základní fyzikální vlastnosti kapalin

Při výpočtech hydraulických mechanismů, např. zjišťování tlakových ztrát je důležitá znalost fyzikálních veličin pracovních kapalin. Při volbě pracovní kapaliny je lepší znát její vlastnost, protože má vliv na životnost mechanismů a na jejich funkci. Při nevhodně zvolené kapaliny může dojít ke snížení životnosti mechanismů. [3] Pro případ simulaci si ovšem vystačíme se znalostí

2.2 Viskozita kapalin

„Viskozita kapalin je silně závislá na teplotě! Změna viskozity může mít podstatný vliv na správnou funkci hydraulického mechanismu. Při práci hydraulického mechanismu dochází k zahřívání pracovní kapaliny a viskozita klesá.“

Zmenšení viskozity má tyto důsledky:

- s klesající viskozitou klesají tlakové ztráty (kapalina klade menší odpor proti proudění)
- s klesající viskozitou rostou průtokové ztráty (kapalina se snadněji protlačí netěsnostmi)
- s klesající viskozitou se zhoršuje mazání (klesá únosnost kapalinného mazacího filmu a hrozí např. zadření hydrogenerátoru) [6]

Viskózní křivky dělí do tzv. viskózních tříd, které můžete vidět v tab. 1.

Tabulka 1 Viskózní třídy [3]

Viskózní třída podle ISO 3448	Střední viskozita při 40 °C [$mm^2 \cdot s^{-1}$]	Viskozitní rozmezí při 40°C [$mm^2 \cdot s^{-1}$]
ISO VG 10	10	9,0 – 11,0
ISO VG 22	22	19,8 – 24,2
ISO VG 32	32	28,8 – 35,2
ISO VG 46	46	41,4 – 50,6
ISO VG 68	68	61,2 – 74,8
ISO VG 100	100	90 – 110

2.3 Základní zákony hydromechaniky

Na zákonech hydromechaniky je postavena "Hydraulika" jako část fluidní techniky.

2.3.1 Hydrostatika

Základním pojmem hydrostatiky (mechanika kapalin v klidu) je tlak, který je způsobený gravitační silou (váhou) kapaliny a to nejen na dno, ale v každém místě. Tento tlak je závislý na hloubce (na sloupci).

2.3.1.1 Tlak

Tlak je fyzikální veličina, která je označována symbolem p a vyjadřuje poměr velikosti síly F a obsahu této plochy S [4]

$$p = \frac{dF}{dS} \text{ [Pa]} \quad (2.1)$$

Pascalův zákon vyjadřuje chování tlaku v kapalině.

„ V uzavřeném hydraulickém systému se šíří tlak v kapalině všemi směry a má konstantní hodnotu.“

Tento zákon se používá při řešení hydraulických systémů, např. brzdové systémy, ovládání spojek, hydraulické zvedáky, lisy, hydraulické jeřáby, plošiny, výtahy, atd.[1]

2.3.2 Hydrodynamika

Správný termín by měl být "hydrokinematika", protože hydrodynamika se týká pouze silových poměrů a v anglo-amerických podkladech se v rámci hydrokinematiky řešily i silové poměry kapalin v pohybu. Obdobně s normou DIN 13 317, která se vztahuje na tuhá paliva a kde je dynamika "nadstavbou" jak hydrostatiky, tak i kinematiky. Převažuje-li vyšší složka energie kinetické energie je aplikována např. u hydrodynamických převodovek – jedná se o relativně nízký tlak. V těchto mechanismech (kapalinové spojky, měniče momentu) jsou vysoké rychlosti proudění. [4]

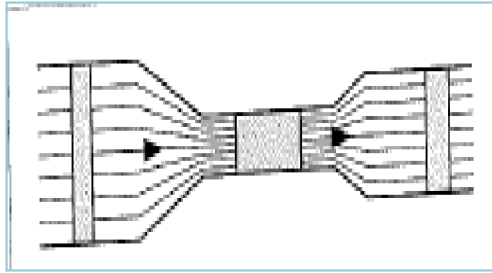
2.3.2.1 Rovnice kontinuity průtoku

Jistý objem kapaliny protéká s různými průřezy potrubím.

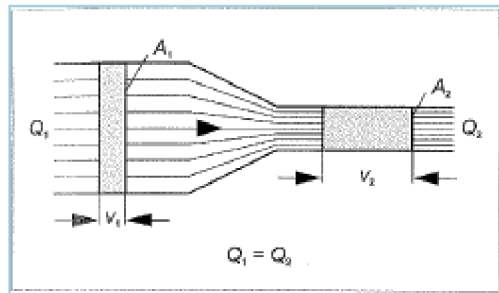
$$Q = \frac{V}{t} = S \cdot v \quad [\text{dm}^3/\text{min}] \quad (2.2)$$

V objem

t čas



Obrázek 1 Znáznornění průtoku [4]



Obrázek 2 Rychlost při průtoku Q v různých řezech [4]

2.4 HYDRAULICKÉ ODPORY

2.4.1 Proudění kapaliny v potrubí

Proudění kapaliny jsem zařadil do práce z důvodu nutnosti znalosti Reynoldsova kritického čísla Re , které ovlivňuje chování jednotlivých prvků simulace a pro všechny simulované prvky se musí nastavit. Tato kapitola je citována z [4].

Proudění v potrubí může být:

a) *ustálené*

- při plynulé dodávce kapaliny je rychlost i tlak stálý
- příklad ustáleného proudění je proudění ve výtlačném potrubí hydrodynamického čerpadla (odstředivé čerpadlo)

b) *neustálené*

- při dodávce kapaliny se rychlost a tlak mění
- příklad neustáleného proudění je ve výtlačném potrubí pístového čerpadla

Ve všech případech na tlakové ztráty hydraulického zařízení má druh proudění. Pomocí Reynoldsova čísla Re se určuje druh proudění

$$Re = \frac{v \cdot d_h}{\nu} \quad (2.3)$$

kde

v rychlost proudění [m/s]

d_h hydraulický průměr [m]

ν kinematická viskozita

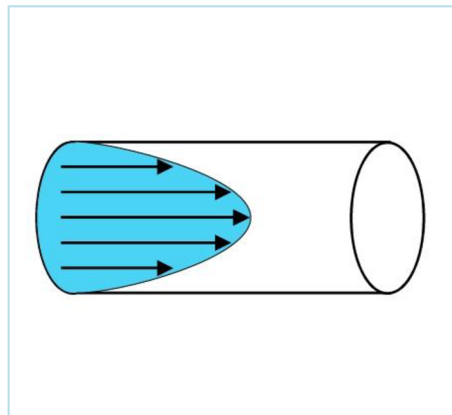
Re_k 2300

Typy proudění se rozdělují na:

- a) laminární proudění
- b) turbulentní proudění

2.4.1.1 Laminární proudění

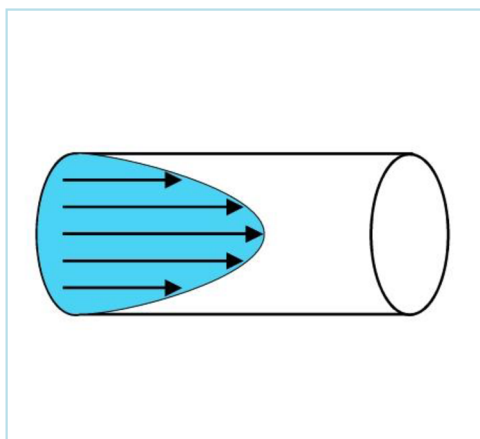
- jistá vrstva kapaliny se pohybuje rovnoběžně s osou proudění jistou rychlostí
- pokud $Re < Re_k$ jedná se o laminární proudění
- maximální rychlost je $v_{\max} = 2 \cdot v$



Obrázek 3 Laminární proudění [8]

2.4.1.2 Turbulentní proudění

- stoupá-li rychlost proudění, mění se profil a dochází k přidavnému víření
- vyznačuje se vyšší tlakovou ztrátou
- zda je $Re > Re_k$ jedná se o turbulentní proudění
- maximální rychlost je $v_{\max} = 1,2 \cdot v$



Obrázek 4 Turbulentní proudění [9]

3 PRVKY POUŽITÉ V MODELU HYDRAULICKÉHO MECHANISMU

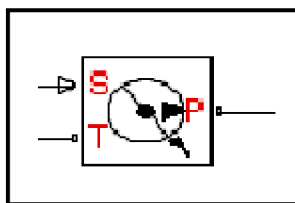
Jednotlivé prvky najdete v katalogových listech od firmy BOSCH REXROTH, kde jsou veškeré údaje pro správné sestavení modelu. Kapitola 3.2 Hydraulické rozvaděče jsem čerpal z [1]

3.1 Hydrogenerátor (HG)

U hydrogenerátoru rozlišuje, zda se jedná o ideální nebo neideální.

3.1.1 Ideální hydrogenerátor (ideální zdroj tlaku)

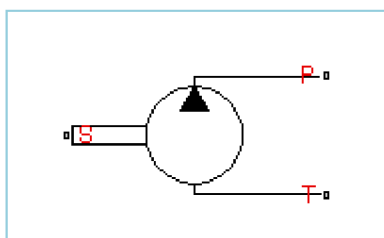
Jedná se o hydrogenerátor nezatížený fyzikálními vlastnostmi (ztráty, účinnost), které působí na skutečné (neideální) hydrogenerátor. Základním parametrem ideálního hydrogenerátoru je pouze požadovaný tlak, kterého chceme dosáhnout.



Obrázek 5 Schematická značka ideálního HG v programu Matlab

3.1.2 Neideální hydrogenerátor

Hydrogenerátor charakterizuje tzv. teoretický objem hydrogenerátoru, který je udáván v katalogových listech výrobce. Výrobce HG udává tzv. geometrický objem čerpadla V_g , který je představován konstrukčním objemem pracovního prostoru HG [5]



Obrázek 6 Schematická značka hydrogenerátoru s pevně nastaveným geometrickým objemem

Blok představuje hydrogenerátor s pevně nastaveným geometrickým objemem. Přípoj P a T jsou hydraulické. Přípoj S je pro přípoj hnací hřídele.

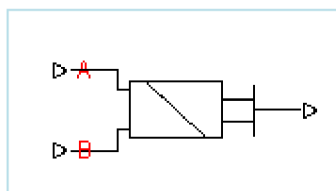
P výtlaček čerpadla

T v našem případě jde o sání čerpadla

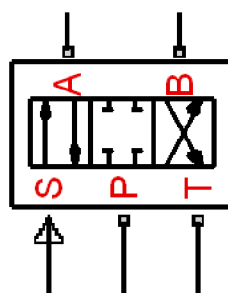
Skutečná dodávka hydrogenerátoru se vypočítá:

$$Q = \frac{Vg \cdot n \cdot \eta_V}{1000} \quad (3.1)$$

3.2 Hydraulický rozvaděč



Obrázek 7 Schematická značka ovládacího magnetu v Matlabu



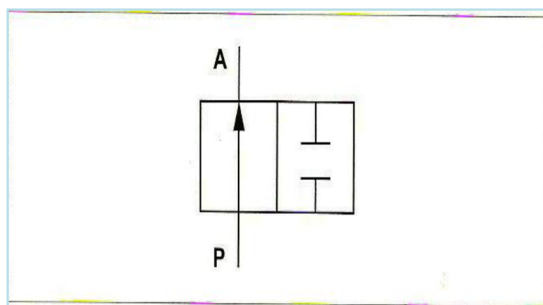
Obrázek 8 Schematická značka šoupátkového rozvaděče

Rozvaděče jsou veškeré komponenty, kterými můžeme řídit rozběh mechanismu, hrazení průtoku a změn směru průtoku tlakového média. Velikost, funkce, parametry a vlastnosti jednotlivých hydraulických rozvaděčů udává výrobce v katalogových listech prvku. Kapitola 3.2 je citována z [4]

Označení rozvaděčů se skládá ze dvou znaků podle počtu:

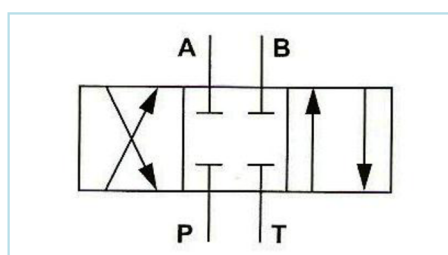
- pracovních větví tzv. cest
 - jsou 2, 3, 4 a více cestné rozvaděče
- přestavovaných poloh
 - zde máme 2, 3, 4 a více polohové rozvaděče

Jako 2/2 rozvaděč se označuje rozvaděč se dvěma pracovními polohami a se dvěma polohami přestavení, obr.9



Obrázek 9 2/2 hydraulický rozvaděč (2-cestný, 2-polohový)

Na obr. 10 je zobrazen rozvaděč se čtyřmi pracovními větvemi a s třemi polohami přestavení označujeme jako rozvaděč 4/3.



Obrázek 10 4/3 rozvaděč (4-cestný, 3-polohový)

Označení pro polohy přestavení rozvaděčů a jejich prvky jsou označeny písmeny "a", "b". Jedna-li se o rozvaděč se třemi polohami přestavení, pak je střední poloha rozvaděče označena jako "klidová poloha" (střední či 0 poloha). V této poloze se nachází pohyblivé části rozvaděče ve stavu, kde nedochází k působení externích sil v určité poloze šoupátka rozvaděče.

Hydraulické rozvaděče rozdělujeme v těchto provedení:

- a) šoupátkové rozvaděče
- b) sedlové rozvaděče
- c) rozvaděč s otočným šoupátkem

Rozvaděče dělíme do dvou skupin:

a) *přímo řízené*

- přímo řízené rozvaděče jsou ovládané ručně, mechanicky, hydraulicky, pneumaticky a elektricky

b) *nepřímo řízené*

- nepřímo řízené rozvaděče ovládáme elektrohydraulicky
- mohou být s interním nebo externím přívodem řídicího tlaku a odvodem kapaliny

rozvaděče můžeme ještě rozdělit podle konstrukce (umístění):

- na blok
- do potrubí
- vestavné (cartridge)

Stanovení výkonu rozvaděče se posuzuje podle následujících parametrů:

- dynamická hranice výkonu
- statické hranice výkonu
- průtočné odpory
- prosaky (hlavně u šoupátkových rozvaděčů)
- délka přestavných časů hydraulických rozvaděčů

3.2.1 Šoupátkové rozvaděče

Ve vedení tělesa rozvaděče se pohybuje šoupátko.

Rozvaděče se vykazují řadu předností:

- jednoduché konstrukční provedení
- dokonalý tlakový rovnovážný stav (malá hodnota ovládacích sil pro řízení rozvaděčů)
- nízké ztráty
- bohatá komunikace funkcí pro řízení včetně propojení cest

Se šoupátkovým rozvaděčem se potkáte v praxi nejčastěji. Díky pohybu šoupátka vzniká propojení nebo přerušení cest možných průtoků.

Tento typ rozvaděče má své negativní vlastnosti a to jsou:

a) "zaseknutí" šoupátka

- k zaseknutí šoupátka může dojít z důvodu nárůstu hodnoty pracovního tlaku v rozvaděči
- šoupátko se deformuje, protože dochází k námaze na ohyb
- důležité je pamatovat na uvedené skutečnosti při dimenzování hodnoty vůle mezi šoupátkem a vedením v tělese hydraulického rozvaděče, aby se zamezilo "zaseknutí" šoupátka

b) deformace tělesa

- k nárůstu hodnoty sil pro předeptnutí hydraulického rozvaděče při uchycení na základové desce dochází prostřednictvím nárůstu tlaku

- při dimenzování velikosti vůle mezi šoupátkem a vedením rozvaděče je nutné brát s většími tolerancemi

c) výroba šoupátka s menším průměrem

- výroba rozvaděčů s menším průměrem šoupátek tudíž i užší toleranční pásma je náročnější
- je potřeba stanovit optimální technologický postup, ve kterém budou rozvaděče splňovat všechny obecně kladené požadavky

Důležitý parametr materiálu je jeho roztažnost, která je závislá na teplotě a musíme brát v úvahu i teplotu pracovního media. Pokud roste teplota, dochází k poklesu viskozity i hustoty.

Celkové chování systému ovlivňují u hydraulických zařízení ztráty kapaliny z prosaků. U hydraulických válců, na které působí zátěž od břemene, může docházet k pohybu pístu válce proti směru zatížení břemenem. Jestli jsou hydraulické válce s rozdílným poměrem ploch pístu a pístnice může dojít ve střední poloze k pohybu pístnice. Pokud v hydraulickém obvodu je nasazen hydraulický akumulátor, je potřeba brát na vědomí ztrát z prosaků pracovní kapaliny.

Šoupátkové rozvaděče rozdělujeme do dvou skupin:

a) přímo řízené

- přímo řízené rozvaděče se označují jako jednostupňové, u kterých je šoupátko přestavováno z jedné polohy do druhé prostřednictvím elektrického magnetu
- rozvaděče jsou ovládané buď elektricky, fluidní technikou pomocí hydraulických nebo pneumatických válců

b) nepřímo řízené

- nepřímo řízené rozvaděče nazýváme jako dvoustupňové rozvaděče
- dvoustupňové rozvaděče se používají v případě požadavku na řízení větších průtoků
- nutnost vyšších hodnot ovládacích sil pro přestavení šoupátka rozvaděče nám nedovoluje použít elektromagnet pro větší světlosti než NG 10
- skládá se z hlavního stupně řízeného elektromagnetem a řídicího ventilu

Tabulka 2 Hydraulické údaje šoupátka [17]

		Hodnota rozvaděče	Jednotka SI
Maximální tlak	Větvě A, B, P	350	bar
	Větev T	210 (=) 60 (~)	bar
Maximální průtok		80 (=) 60 (~)	L/min

V tab. 2 jsou vidět základní parametry pro typ WE 6 ..E podle katalogového listu RE 23 178, firmy Bosch Rexroth. Pracovní kapalina pro tento typ jsou minerální oleje (HL, HLP) podle normy DIN 51 524. Hlavní parametry popisující rozvaděče jsou pracovní tlak, pracovní a teplota kapaliny. Konkrétní elektrické údaje použitého rozvaděče nalezneme v tab.5

3.2.1.1 Ovládání šoupátkového rozvaděče

A) Elektrické ovládání

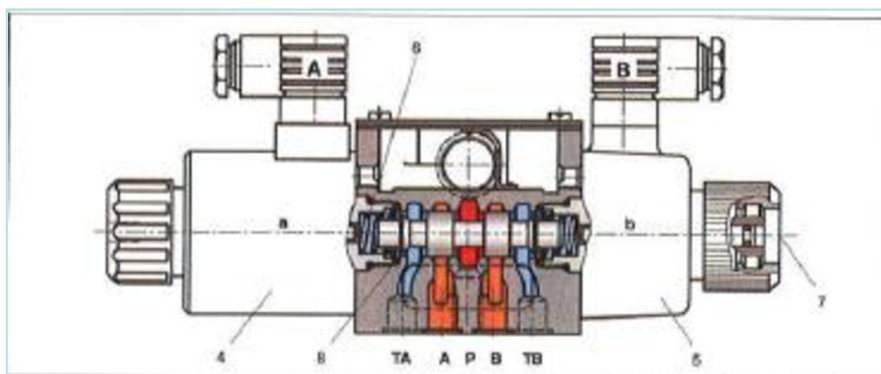
Elektrické ovládání patří mezi nejrozšířenější typ s možností začlenění (kompatibility) hydraulického systému do řídicího elektronického systému. Realizace je provedena pomocí elektromagnetu.

Podle konstrukce elektrických magnetů dělíme na:

- suchý magnet – jedná se o stejnosměrný magnet, který se spíná ve vzduchu
- stejnosměrný elektrický magnet je funkční v mokřém prostředí – prostor, kde je uchycena kotva magnetu a propojen s odpadním kanálem T hydraulického rozvaděče
- el. magnet napájený střídavým proudem (funkce v suchém nebo v mokřém prostředí)

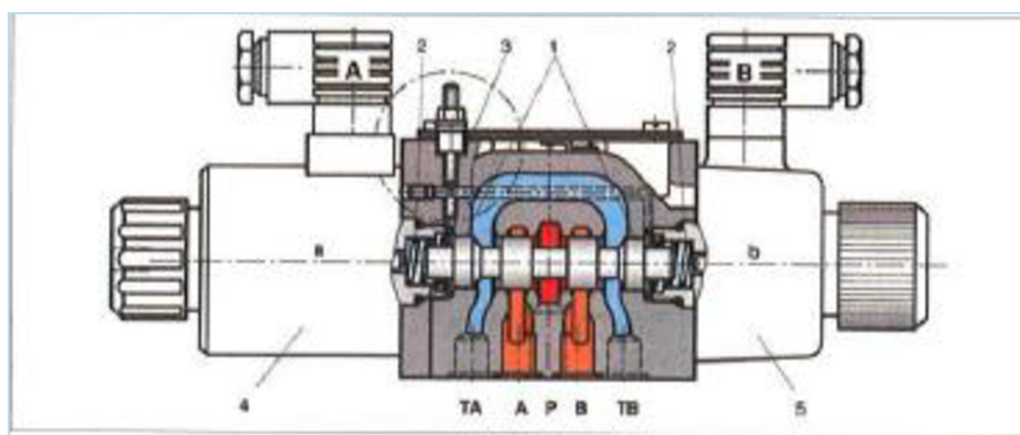
Magnet se vykazuje větší životností, spolehlivostí a zárukou přestavení. Provoz magnetu v mokřém prostředí při spínání s krátkými časovými úseky dochází k tomu, že se kotva magnetu nevrací do krajní polohy a způsobuje shoření magnetu.

V praxi se nejčastěji používají mokřé magnety, které se uplatňují v zařízeních ve vlhkém zařízení nebo ve volném prostředí. U těchto magnetu nedochází ke zkorodování vnitřních součástí rozvaděčů.



Obrázek 11 Šoupátkový rozvaděč – 3 komorový [4]

Na obr. 11 je 3 komorový šoupátkový rozvaděč, který je složen z kanálu (P, A a B), kanálku (TA a TB), nouzového ovládání (7), magnetu (4), pružinou (6).



Obrázek 12 šoupátkový rozvaděč – 5 komorový [4]

U rozvaděče s 5 komorami, obr. 12, kde je kanál (1) oddělen od prostorů (2) v tělese rozvaděče na obou stranách. Kanály (P, A, B) jsou odděleny překážkami v rozvaděči a kanálky (TA, TB) jsou propojeny přes odtokové kanálky s odpadní větví. V levé části můžete vidět magnet (4)

B) Mechanické ruční ovládání

Hydraulický rozvaděč, který je ovládán pomocí ruční páky. Hydraulické šoupátko je mechanicky propojeno s ovládacím mechanismem a ve funkci kopíruje jeho pohyb. Pomocí pružiny, která zajišťuje zpětnou polohu šoupátka. Šoupátko je mechanicky zabudováno do mechanismu, kde má fixaci krajních poloh. Můžeme jeho polohu měnit prostřednictvím ovládacího impulsu. V našem případě jsme tento rozvaděč nevyužili.

C) Hydraulické ovládání

Hydraulické a pneumatické ovládání se může nazývat jako fluidní ovládání. Rozvaděče ovládané pneumaticky jsou středěny pružinami. Elektromagnetické ovládání šoupátka je nahrazeno ovládacím šoupátkem, na které působí stlačený vzduch a přestaví šoupátko do krajní polohy. Ovládání stlačeným vzduchem se využívá v prostředí s nebezpečí výbuchu a tam, kde nelze použít elektromagnet. Nevýhodou tohoto ovládání je stlačitelnost ovládacího média a s tím spojené složitější ovládání. Rozvaděč lze využít pro spojitě řízení. Výhodou je, že není potřebné odpadní potrubí, ale se medium uvolňovat do okolí.

3.2.2 Sedlové rozvaděče

Jedná se o sedlové ventily, kde je těsnící dvojicí kulička s kuželovým sedlem, příp. talíř dosedající do sedla. Spolehlivost těsnosti uzlů roste, roste-li pracovní tlak.

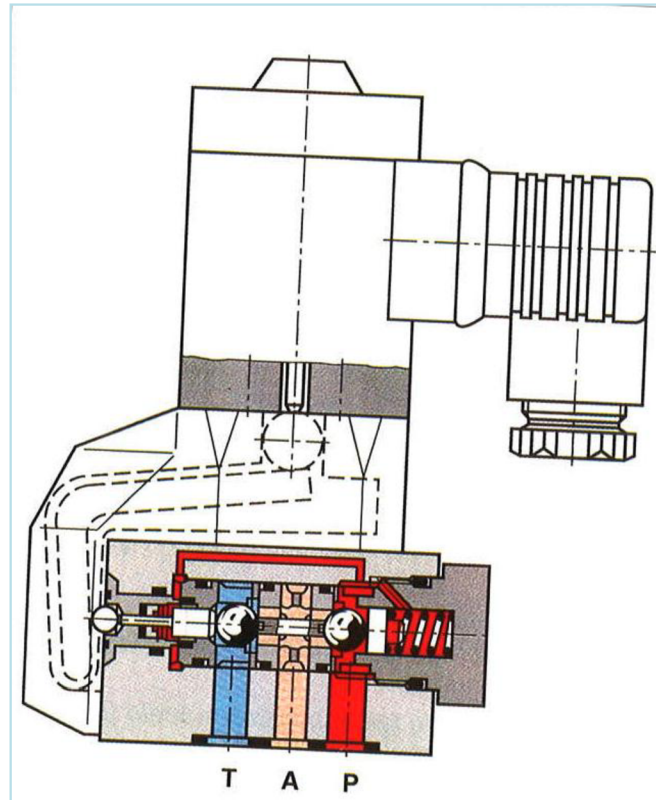
Charakteristickými znaky rozvaděčů jsou:

- pracují bez existence prosaků kapaliny
- mají vysokou životnost, spolehlivost a nepůsobí zde zanášení
- není potřeba žádného dalšího mechanismu
- existují velké tlakové ztráty v důsledku krátkých zdvihů

Sedlové ventily se vyrábějí jako:

a) přímo řízené

- řídicí prvky jsou ovládaný mechanicky příslušnou pružinou a elektromagnetem
- v praxi se používají rozvaděče do světlosti NG 10
- může se použít větší světlosti větší než NG 10, ale nese to s sebou řadu problému včetně zdražení komponentu

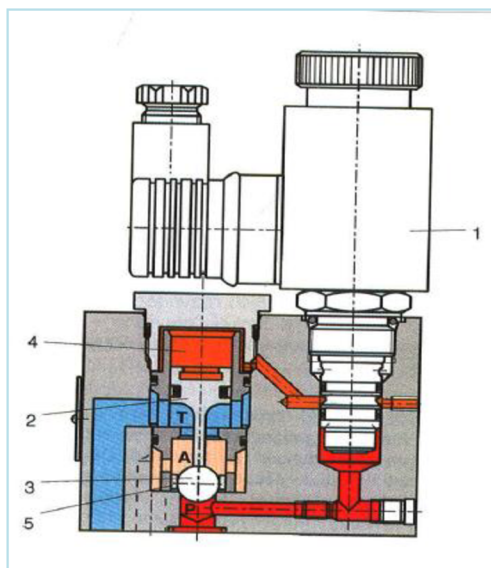


Obrázek 13 3/2 rozvaděč ovládaný elektricky v provedení s kuličkou [4]

U tohoto typu rozvaděče, který je na obr. 13, jsou výchozí klidové polohy propojeny kanály (A,T) a kanál (P) je uzavřen. V pravé části rozvaděče je kulička nadzvednuta ze sedla a v levé části je do sedla přitlačována.

b) nepřímo řízené

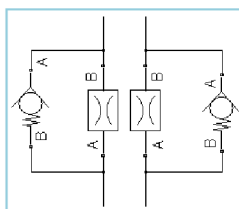
- rozvaděče s větší světlostí se používají pro řízení přímo řízené, elektromagneticky ovládané



Obrázek 14 3/2 Sedlový rozvaděč - elektrickohydraulicky ovládaný [4]

Na obr. 14 je znázorněn 3/2 sedlový rozvaděč. V klidové poloze je šoupátko (2) rozvaděče přes ventil (1) zatížen tlakem od čerpadla. Plocha uzavíracího elementu (3) je větší než plocha šoupátka, která je zatěžována tlakem. A to způsobuje, že uzavírací element je přitlačován do sedla a kanál (P) je uzavřen, je realizováno propojení kanálů (A, T). Pokud dojde k aktivaci řídicí ventilu, tak se nadzvedne uzavírací element ze sedla a kanál (T) se uzavře a zaktivuje se propojení kanálů (A,P).

3.3 Škrťící člen se zpětným ventilem



Obrázek 15 Schematická značka škrťícího ventilu s obtokem

Průtok v jednom směru prochází přes škrťící prvek (clonu, kuželku) a zpětný ventil je v tomto směru uzavřen. V opačném směru prochází tlaková kapalina přes zpětný ventil. Nedochází ke škrzení a kapalina může volně obtékat škrťící prvek.

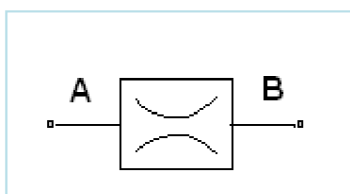
3.3.1 Škrťící člen

Škrzení slouží k nastavení průtoku v dané hydraulické větvi. Z fyzikálního hlediska se jedná o uměle vytvořený odpor v proudu kapaliny, který zajišťuje stálý požadovaný průtok. Využívá se všude, kde potřebujeme zajistit určitý tlak v odpadních větvích, zmenšit nebo nastavit objemový průtok větve, atd.

Rozeznáváme dva škrtící členy:

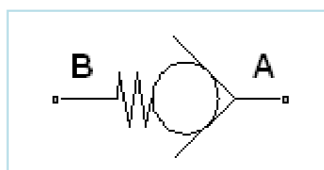
1) *pevně nastavené škrcení (clona)*

- clona je velmi levná, jednoduchá a minimálně poruchová
- vyžaduje větší nároky na zkušenost pro navrhování a odladění stroje
- změna průtoku je složitější – musí dojít k odstavení hydraulického obvodu, demontáž clony, kterou vyměníme za clonu s požadovaným průtokem



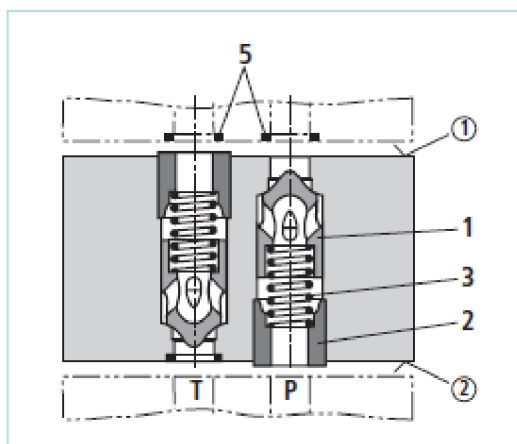
Obrázek 16 Schematická značka clony

3.3.2 Zpětný ventil



Obrázek 17 Schematická značka zpětného ventilu

Zpětný ventil slouží k uzavření průtoku v jednom směru. V opačném směru je průchozí. Pružina zajišťuje bezpečnější a rychlejší uzavření v nepropustném směru. Zároveň síla pružiny udává otvírací tlak ventilu v propustném směru. Velikost zbytkového (předeplinacího) tlaku v hydraulickém obvodu. Velikost otvíracího tlaku, průběh průtoku a ztrátového tlaku udává výrobce v katalogových listech.



Obrázek 18 Zpětný ventil [12]

Zpětný ventil obr. 18 je složený z kuželky (1), plastovým pouzdrem (2), integrovanou pružinou (3), strany součástek ① a strany desky ②, odpadu (T) a přívodního tlaku (P).

3.4 Servomotor

Servomotor zajišťuje propojení mezi hydraulickým obvodem a pracovním mechanismem. Tlaková síla je přeměněna na přímočarý pohyb. Velikost zvedaného břemene určuje součinitel tlaku p [Pa] a plochy S [m²]. Rychlost pohybu servomotoru vychází z rovnice průtoku

$$Q = \frac{V}{t} = S \cdot v \quad [\text{dm}^3/\text{min}] \quad (3.2)$$

3.4.1 Servoválce

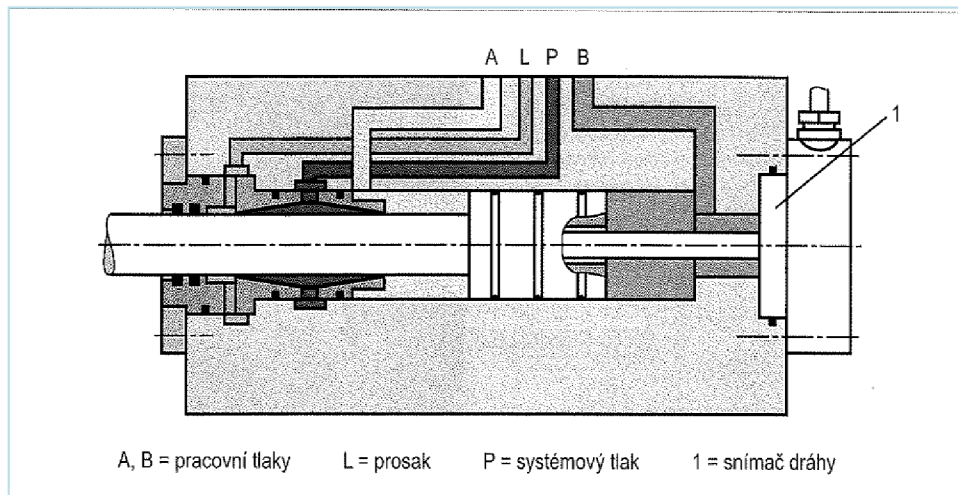
Hydraulický servoválec je po konstrukční stránce shodný s hydraulickým válcem (přímočarý hydromotor). Odlišuje se nekontaktním vedením pístu v pístnici za pomoci hydrostatického uložení. Takovéto uložení má velmi malé pasivní odpory a umožní rychlé pohyby. Vlastností servoválců nejčastěji využíváme u zkušebních zařízení a tam kde potřebujeme vysokou dynamiku a přesnost.

Druh servoválece určuje:

- přípustné pasivní odpory při funkci servoválece
- zatížení válce
- požadovaná rychlost přestavení válce
- regulační pohyb (amplituda)

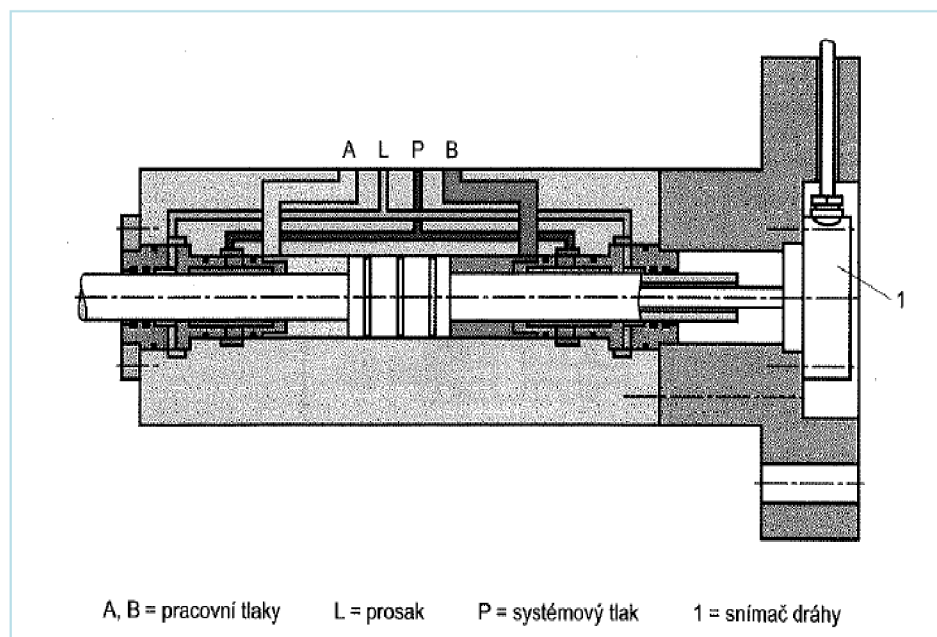
Po vyhodnocení těchto vlastností získáme jeden ze dvou druhů servoválců:

- a) servoválec s klínovým hydrostatickým ložiskem (kuželový prostor) pro vedení pístnice
 - využívá se pro menší rychlosti pod 2 m/s, tlak do 210 Bar a max. zatížení 4000 kN včetně menších setrvačných hmot.



Obrázek 19 Servoválec s hydrostatickým vedením pístnice – kuželový prostor [4]

- b) servoválec s kapsovým hydrostatickým ložiskem (válcový prostor) pro vedení pístnice
- vhodný pro větší rychlosti nad 2 m/s, vyšší tlak do 280 Bar a zatížení od 10 do 10 000 kN.



Obrázek 20 Servoválec s hydrostatickým vedením pístnice – válcový prostor [4]

4 ŘEŠENÍ MODELU HYDRAULICKÉHO OBVODU

4.1 PID regulátor

Kapitola 4.1 je čerpána z [12]

Regulátory můžeme rozdělit podle způsobu napájení:

a) Přímé (direktivní) regulátory

Přímé regulátory odebírají energii pro svoji činnost z regulované soustavy. Regulátory jsou mechanicky propojeny se soustavou a ovládají ji. Nejčastěji jde o mechanické regulátory, u kterých nejsou nároky na kvalitu regulace.

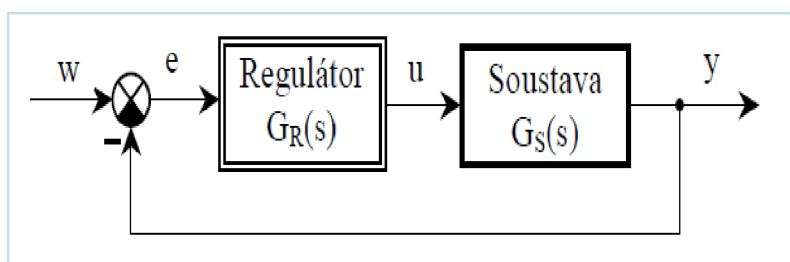
b) Nepřímé (indirektivní) regulátory

Nepřímé regulátory odebírající energii pro svou činnost ze zvláštního napájecího zdroje, např. elektrický zdroj stejnoměrného napětí, rozvod tlakového vzduchu, atd. Jsou složitější a tomu odpovídá vyšší kvalita regulace. Dnes se u analogové regulace realizuje pomocí operačních zesilovačů.

Dalším rozdělení regulátorů je podle průběhu přenášeného signálu

a) Spojité regulátory

Spojité regulátory neboli analogová regulace pracují se spojitými signály. Hlavními stavebními prvky jsou operační zesilovače a kvalita regulace je vysoká, jejich návrh je poměrně snadný. Jejich menší energetická účinnost nevýhodná pro velké výkony.



Obrázek 21 Regulátor v regulačním obvodu [13]

$$G_{R(s)} = \frac{u(s)}{e(s)} \text{ operátorový přenos regulátoru} \quad (4.1)$$

$$G_{R(j\omega)} = \frac{u(j\omega)}{e(j\omega)} \text{ frekvenční přenos regulátoru} \quad (4.2)$$

b) Nespojité regulátory

Nespojité regulátory neboli číslicová regulace pracují s nespojitými signály.

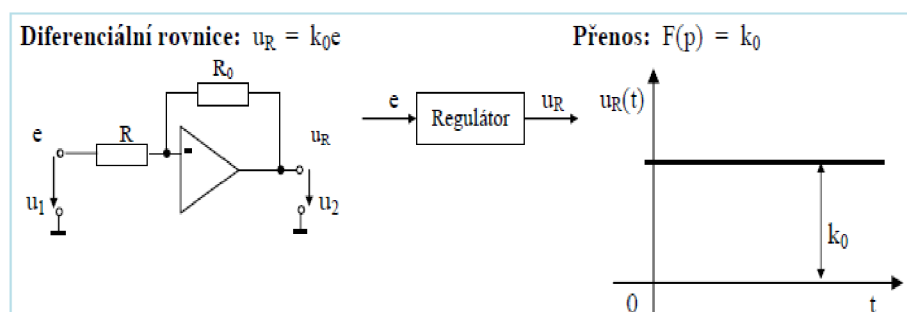
V diplomové práci pracuji se spojitou regulací a její hodnotu převádím na nespojitou, proto dále budu rozebírat pouze spojitou regulaci.

Výstupní hodnotou spojitě pracujícího regulátoru je stejnosměrné napětí nebo proud.

c) Proporcionální regulátor „P”

Pouze zesiluje regulační odchylku e , přičemž zesílení je v širokém frekvenčním rozsahu konstantní. Při vysokých frekvencích, jeho přenos vlivem setrvačnosti klesá. Jde o proporcionální člen s konstantním reálným přenosem mnohem větším než jedna.

Tento typ regulátoru je velmi levný, jednoduchý a stabilní. Nevýhoda proporcionálního regulátoru je v tom, že pracuje s trvalou regulační odchylkou, kterou nelze odstranit, ale pouze ovlivnit její velikost změnou zesílení. P regulátory jsou nevhodné pro regulované soustavy bez setrvačnosti, pro soustavu vyšších řádů s dobou průtahu T_u převyšující desetinu doby náběhu T_n a pro soustavy s dopravním zpožděním.



Obrázek 22 Základní zapojení P regulátoru [12]

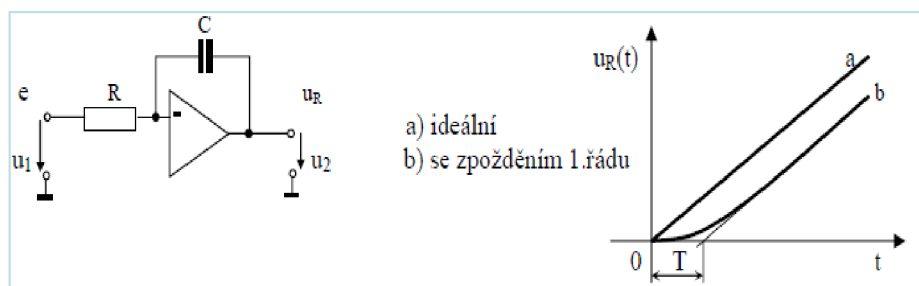
d) Integrovní regulátor „I”

Jako jediný umožňuje úplné odstranění odchylky e , která je regulátorem integrována. I ty nejmenší odchylky díky integraci narostou s časem a jsou po určité době „vynulovány”. Tento regulátor lze realizovat pomocí stejnosměrného invertujícího zesilovače. I regulátor i v kombinacích s jinými typy regulátorem, který umožňuje zcela odstranit regulační odchylku.

Nevýhoda je taková, že pokles zesílení se zvyšující se frekvencí, takže regulátor pomalu odstraňuje poruchy. Jako ze všech typů pro regulaci statických soustav s dopravním zpožděním je nejvhodnější integrovní regulátor. Nelze ho použít u astatických soustav, protože takovýto regulační obvod byl nestabilní. Méně vhodný pro regulaci soustav vyšších řádů – lepší použít regulátor PI.

$$\text{Diferenciální rovnice } u = k_{-1} \int e dt \quad (4.3)$$

$$\text{Přenos } F(p) = -\frac{1}{pC} = -\frac{1}{pCR} = \frac{k_{-1}}{p} \quad (4.4)$$



Obrázek 23 Základní zapojení a charakteristiky I regulátoru [12]

e) Derivační regulátor „D”

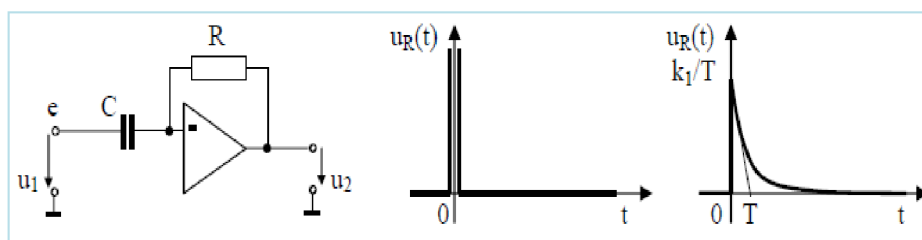
Ideální derivační regulátor nelze realizovat. Způsobují to parazitní setrvačnosti, které potlačují přenos při vysokých frekvencích. Ideální přenos určuje opět poměr odporu ve zpětné vazbě a impedance ve vstupu

$$F(p) = -\frac{R}{\frac{1}{pC}} = -cCR = -pT_D = k_{1p} \quad (4.5)$$

kde $T_D=k_1RC$ je derivační časová konstanta.

Chceme-li vyjádřit přenos skutečného derivačního členu, tak se musí výraz vynásobit přenosem parazitního setrvačného členu s časovou konstantou T . Derivační regulátor má při konstantním vstupu nulový přenos a samotný regulátor nezesiluje regulační odchylku a musí vždy kombinován s proporcionálním regulátorem.

Diferenciální rovnice $u = k_1 \frac{de}{dt} \quad (4.6)$



Obrázek 24 Základní zapojení a charakteristiky D regulátoru [12]

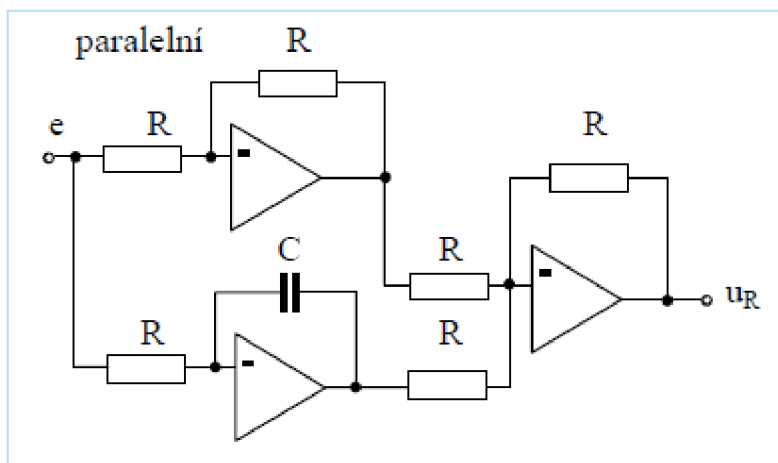
Kromě základního rozdělení přenosových vlastností se používají jejich kombinace PI, PD a PID.

f) Proporcionálně integrační regulátor „PI”

PI regulátor mají oproti I regulátoru větší přenos na vyšších frekvencích, takže rychleji odstraňují nárazové poruchy. Patří mezi nejrozšířenějšími kombinovanými regulátory, protože mají téměř univerzální použití a nejsou příliš složité. PI regulátory úplně odstraňují regulační odchylku. Nejvíce se využívají při regulaci kmitavých soustav druhého i vyšších řádů a jsou lepší než regulátor I, protože se dají využít pro statické soustavy s dopravním zpožděním.

$$\text{Diferenciální rovnice } u = k_0 e + k_{-1} \int e dt \quad (4.7)$$

$$\text{Přenos } F(p) = k_0 + \frac{k_{-1}}{p} = k_0 + \frac{1}{T_i p} \quad (4.8)$$



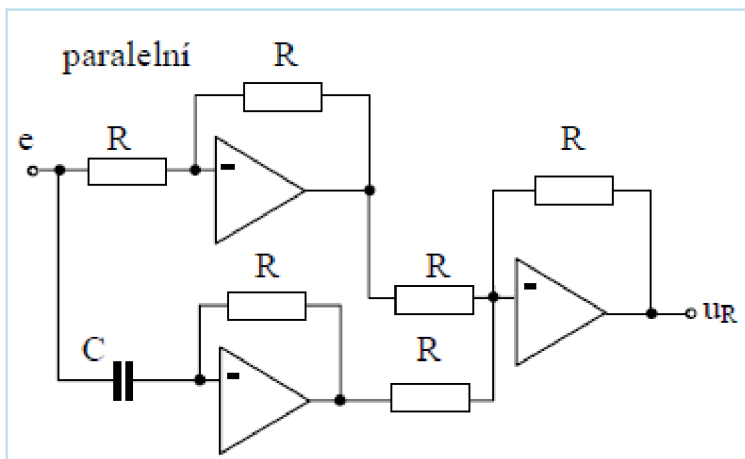
Obrázek 25 Způsob realizace PI regulátoru – paralelní [12]

g) Proporcionálně derivační regulátor „PD”

Tento typ lze použít všude tam, kde vyhovuje P regulátor. PD regulátory mají větší přenos na vyšších frekvencích než proporcionální. Pokud se vyskytnou četné poruchy, lze PD regulátor použít, protože velmi rychle potlačují tlumené kmity vznikající v regulovaných soustavách vyšších řádů. PD regulátor pouze zmenšuje regulační odchylku.

$$\text{Diferenciální rovnice } u = k_0 e + k_1 \frac{de}{dt} \quad (4.9)$$

$$\text{Přenos } F(p) = k_0 + k_1 p = k_0 + T_d p \quad (5.0)$$



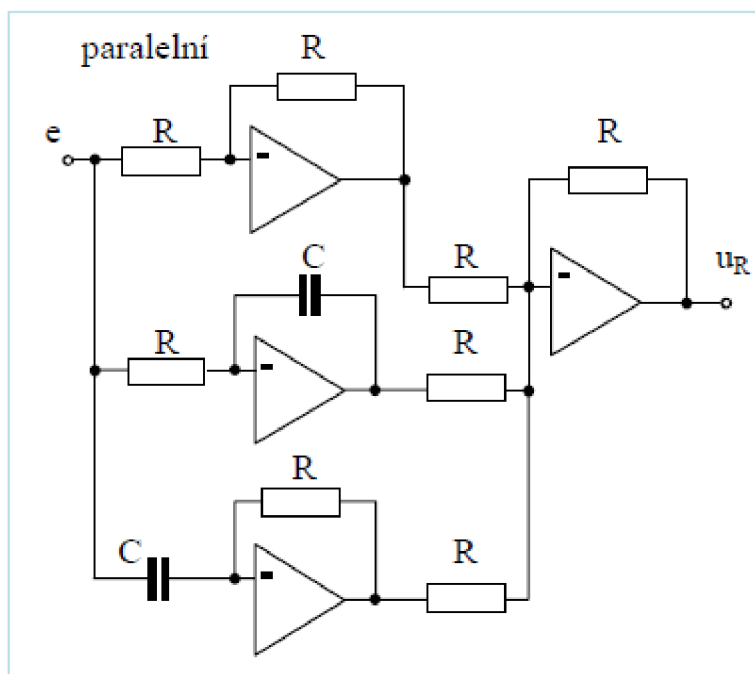
Obrázek 26 Způsob realizace PD regulátoru – paralelní [12]

h) Proporcionálně integračně derivační regulátor „PID”

Chceme-li úplně odstranit trvalou regulační odchylku a zároveň rychle kompenzovat poruchy nebo vlastní kmity soustavy, použijeme PID regulátor. PID regulátory jsou rychlejší a tlumí rychlé přemkity regulované veličiny.

$$\text{Diferenciální rovnice } u = k_0 e + k_{-1} \int edt + k_1 \frac{de}{dt} \tag{5.1}$$

$$\text{Přenos } F(p) = k_0 + \frac{k_{-1}}{p} + k_1 p = k_0 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \tag{5.2}$$



Obrázek 27 Způsob provedení PID regulátoru – paralelní [12]

Tyto kombinace se realizují dvěma způsoby:

1) *Sérioparalelní PID regulátor (nejobvyklejší zapojení)*

Přenos regulátoru uvažujeme ve tvaru

$$G_R(s) = K_p \cdot \left[1 + \frac{1}{T_I \cdot s} + T_D \cdot s \right] \quad (5.3)$$

V časové oblasti tomu odpovídá vztah

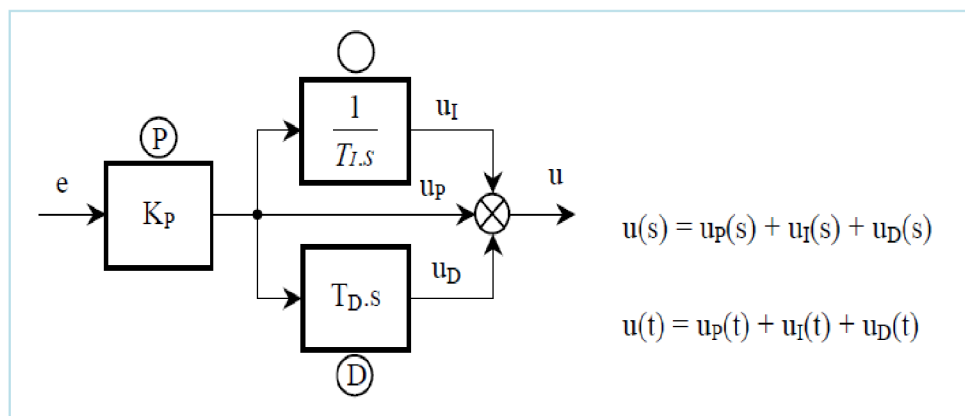
$$u(t) = K_p \cdot \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) \cdot dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (5.4)$$

K_p proporcionalní konstanta neboli zesílení

T_I integrační časová konstanta

T_D derivační konstanta

Přenos realizujeme součtem 3 složek. [13]



Obrázek 28 Blokové schéma sérioparalelního PID regulátoru [13]

2) *Paralelní PID regulátor*

Přenos regulátoru uvažujeme ve tvaru

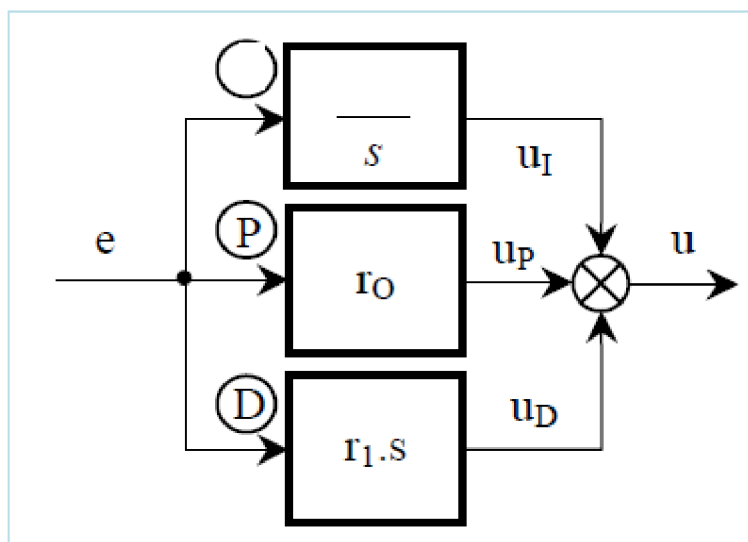
$$G_{R(s)} = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1 \cdot s \quad (5.5)$$

r_0 proporcionalní složka neboli zesílení

r_{-1} integrační součinitel

r_1 derivační součinitel

Struktura je dána paralelním zapojením složek. [13]



Obrázek 29 Blokové schéma paralelního PID regulátoru [13]

4.1.1 Metody nastavování

K nastavení PID regulátorů lze využít různé metody. Nejčastěji používanou metodou jsou, tzv. skokové odezvy. Mezi tuto metodu řadíme, např. Ziegler - Nicholsonova metoda. Při takovém nastavení dochází až v polovině nastavení k přeregulování a hmitání regulační odezvy. Nastavení daného regulátoru se stává určitým kompromisem. Často mezi požadavkem na rychlou regulaci, potřebou dobré stability odezev a minimálního přeregulování.

Existují 2 metody, které se používají:

1) Výpočet

Při nastavení se obvykle rozpojí obvod a přivede se na vstup skok akční veličiny. Odezvu aproximujeme modelem skoková odezva s přenosem v Laplaceově transformaci

$$G(s) = \frac{K_p}{T_s + 1} \cdot e^{-sL} \quad (5.6)$$

K_p zesílení

L dopravní zpoždění

T časová konstanta

2) Metoda "pokus omyl"

V zásadě začínáme nastavením v pořadí P , I , D . Nejdříve začneme zvyšovat proporcionální zesílení K až rozkmitáme obvod. Následně složku P snížíme na velikost o něco větší než $\frac{1}{2}$ původní hodnoty. Podobným způsobem postupujeme i u složek I a D .

Při řešení úkolu jsem PID regulátor nastavoval metodou "pokus omyl". Nejdříve jsem nastavil P složku a přivedl obvod na hranici stability. Tím jsem získal proporcionální složku $P=80$ pro obvod s dvěma rozvaděči a $P=65$ pro tři rozvaděče. Obdobně jsem nastavil regulační

složku $I= 0,3$ pro dva ventily a $I= 0,1$ pro obvod s třemi ventily. Nakonec jsem určil poslední složku $D= 0$ pro dva rozvaděče a $D= 0$ pro tři rozvaděče.

4.2 Hydraulický válec

Úlohou hydromotoru je přeměna tlakové energie na přímočarý pohyb. Hydraulický válec využíváme k pohybu s břemenem, ovládní mechanismu, apod. Parametry válce jsou závislé na aplikaci a od požadavku, které jsou kladeny na celkovou technologii. Rychlost vysouvání/zasouvání pístu je přímo závislé na průtoku

$$Q = S \cdot v \quad (5.7)$$

, který vychází ze součinu plochy S a rychlosti v .

Velikost plochy S závisí na velikosti síly působící proti pístu a velikosti tlaku p , který působí na plochu S .

$$p = \frac{F}{S} \quad (5.8)$$

Ve své práci jsem vycházel pro volbu hydraulického válce podle parametrů vodní elektrárny Vír z Passportu vodních elektráren.

Pro hydraulický válec jsem zvolil poměr ploch mezikruží a píst 1:2.

Výpočet plochy mezikruží hydraulického válce

$$p = \frac{F}{S_{Mezikruží}} \Rightarrow S_{Mezikruží} = \frac{F}{p} = \frac{350000}{11000000} = 0,032m^2 \quad (5.9)$$

Výpočet plochy pístu hydraulického válce

$$S_{Pist} = 2 \cdot S_{Mezikruží} = 2 \cdot 0,032 = 0,064m^2 \quad (6.0)$$

Potřebný průtok pro mezikruží hydraulického válce

$$Q_{Mezikruží} = \frac{V}{t} = S_{Mezikruží} \cdot v = \frac{S_{Mezikruží} \cdot l}{t} = \frac{0,032 \cdot 0,2 \cdot 60}{4} = 0,096m^3 / \text{min} = 96dm^3 / \text{min} \quad (6.1)$$

Potřebný průtok pro píst hydraulického válce

$$Q_{Pist} = \frac{V}{t} = S_{Pist} \cdot v = \frac{S_{Pist} \cdot l}{t} = \frac{0,064 \cdot 0,2 \cdot 60}{4} = 0,128m^3 / \text{min} = 128dm^3 / \text{min} \quad (6.2)$$

Popsané veličiny v modelu najdete v tab. 3

Tabulka 3 Hydraulické válce - použité veličiny při výpočtu

Značka veličiny	Popis veličiny	Použitá hodnota v modelu	SI jednotka
T	čas zavření	4	S
W	práce konající hydraulického válce	33 000	J
l_1	dráha pístu	0,18	m
l_2	zvolená dráha hydraulického válce	0,2	m
P	tlak v soustavě	11	MPa
$S_{\text{mezikruží}}$	plocha mezikruží	0.032	m ²
	mrtvý objem kanálu A	1 · 10 ⁻⁴	m ³
	mrtvý objem kanálu B	1 · 10 ⁻⁴	m ³
	teplotní koeficient	1,4	
	koeficient tuhosti	1 · 10 ⁻¹²	N/m
	kontakt tlumení	56 000	N/(m/s)
$S_{\text{píst}}$	plocha pístu	0.062	m ²

4.3 Šoupátko

Podle průtoku, které jsou určeny počtem kombinací rozvaděčů a po seznámení s prvky firmy BOSCH REXROTH, jsem zvolil rozvaděč 4WE6D733X/ o parametrech získaných z katalogů prvků R-CZ 23 183/02.03 od firmy REXROTH, které jsou vypsány v tab. 5.

Šoupátka můžeme rozdělit do několika parametrů podle:

- 1) počtu tzv. cest
 - dvou, tří, čtyř a více cestné šoupátka
- 2) typu ovládání
 - ruční
 - elektrické
 - elektrohydraulické
 - pneumatické
- 3) počtu tzv. poloh
 - dvou, tří a více polohové
- 4) tvaru
- 5) konstrukce
 - šoupátkové
 - sedlová
- 6) Uspořádání hran

- pozitivní překrytí

V předchozí kapitole 3.3.1 jsme se více dozvěděli o šoupátkových rozvaděčích.

Tabulka 4 Šoupátko – použité veličiny při výpočtu

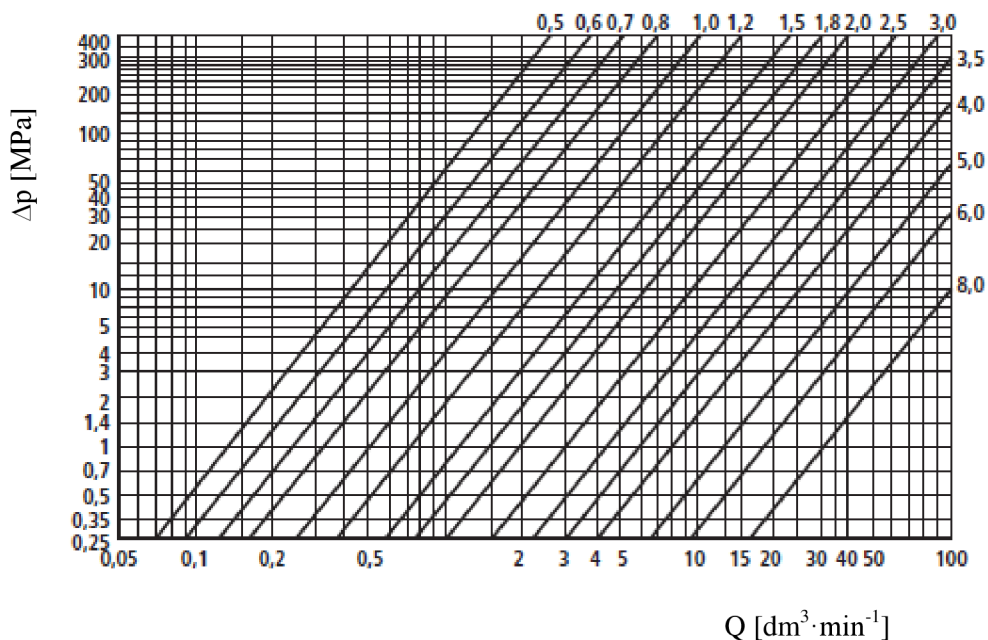
Značka veličiny	Popis veličiny	Použitá hodnota v modelu	SI jednotka
	zdvih šoupátka	0,02	M
	koeficient průtoku	0,7	
R_k	Reynoldsovo kritické číslo	12	
	plocha prosaků	$1 \cdot 10^{-12}$	m ²
	maximální plocha průtoku	80	mm ²
	maximální otevření ventilu	0,02	m

Tabulka 5 Elektrické údaje pro šoupátkový rozvaděč [17]

Druh napětí	stejnoseměrné	střídavé 50/60 Hz	jednotka SI
dodává se pro napětí	12, 24, 96, 205	110, 230	V
tolerance napětí (jmenovité napětí)	± 10		%
příkon	30	-	W
udržovací výkon	-	50	VA
spínací výkon	-	220	VA
doba sepnutí	DB (nepřetržitý provoz)	DB	
spínací čas EIN (zapnuto)	25 - 45	10 – 20	ms
spínací čas AUS (vypnuto)	10 - 25	15 – 40	ms
četnost spínání	Do 15000	Do 7200	Sch/h
druh el. Ochrany podle DIN 40 050	IP 65	IP 65	
maximální teplota cívky	150	180	°C

4.4 Clona

V hydraulickém obvodě jsem zvolil průměr otvorů clon podle rozdělení průtoku přes jednotlivé clony při daném tlaku. Průměr otvorů v clonách určuje grafické zobrazení závislosti hydraulického tlaku a průtoku, graf 1.



Graf 1 Tlak vs. průtok [15]

V praxi se využívají dva způsoby určení velikosti průměru clony:

a) *grafem*

- Je využíván k rychlému orientačnímu určení velikosti otvoru clony

b) *výpočtem*

$$Q_v = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{P_1 - P_2}{\rho}} \quad (6.3)$$

Velikost clon pro jednotlivé průtoky v hydraulickém obvodě je popsán v tab. 6 a 7 spolu s vypočítanými plochami otvorů clon. Získané plochy otvorů jsou potřebné k nastavení bloku clony v Matlabu spolu s $R_k = 2400$.

4.4.1 Návrh clon pro obvod s dvěma ventily

Výpočet jednotlivých průtoků podle počtu kombinací rozvaděčů

$$Q_{1/3} = \frac{Q_{\text{celkové}}}{3} = \frac{96}{3} = 32 \text{ dm}^3 / \text{min} \quad (6.4)$$

výpočet průtočné plochy clonou

$$S = \frac{\pi \cdot d_{\text{Otvoru}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 2,6^2}{4} = 5,3 \text{ mm}^2 \quad (6.5)$$

Tabulka 6 Clona pro obvod s dvěma ventily

	Mezikruží		Píst	
Rozdělení průtoků	1/3	2/3	1/3	2/3
Průtok přes clonu [dm³/min]	32	64	64	128
Zvolený průměr otvoru clony z grafu [mm]	2,6	3,7	3,6	5,1
Průtočná plocha clony [mm²]	5,3	10,75	10,73	20,42

4.4.2 Návrh clon pro obvod se třemi ventily

Výpočet jednotlivých průtoků dle počtu kombinací rozvaděčů

$$Q_{1/7} = \frac{Q_{\text{Celkové}}}{7} = \frac{96}{7} = 14 \text{ dm}^3 / \text{min} \quad (6.6)$$

výpočet průtočné plochy clonou

$$S = \frac{\pi \cdot d_{\text{Otvoru}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 1,7^2}{4} = 2,27 \text{ mm}^2 \quad (6.7)$$

Tabulka 7 Clona pro obvod se třemi ventily

	Mezikruží			Píst		
Rozdělení průtoků	1/7	2/7	4/7	1/7	2/7	4/7
Průtok přes clonu [dm³/min]	14	27	55	27	55	110
Zvolený průměr otvoru clony z grafu [mm]	1,7	2,4	3,4	2,4	3,4	4,9
Průtočná plocha clony [mm²]	2,27	4,52	9,07	4,52	9,07	18,85

4.5 Zpětný ventil

Součástí škrtkového ventilu s obtokem je zpětný ventil, který zajišťuje uzavření průtoků v jednom směru kuželkou nebo kuličkou. Uzavírací element je dotlačován do sedla ventilu pružinou, na které závisí potřebný tlak po otevření ventilu. Otvírací tlak jsem vybral $p_{\text{otvírací}} = 1 \text{ bar}$.

Zvolené parametry ventilu můžete vidět v tab. 8.

Tabulka 8 Zpětný ventil – použité veličiny pro model

Značka veličiny	Popis veličiny	Použitá hodnota v modelu	SI jednotka
$p_{otv\acute{r}aci}$	tlak otv\acute{r}ací	1	Bar
R_k	Reynoldsovo kritické číslo	12	
$S_{pr\acute{u}toku}$	plocha pr\acute{u}toku	100	mm ²
p_{max}	maximální otevření při tlaku	50	Bar
	koeficient pr\acute{u}toku	0,7	
	plocha prosak\acute{u}	$1 \cdot 10^{-12}$	m ²

4.6 Redukční ventil

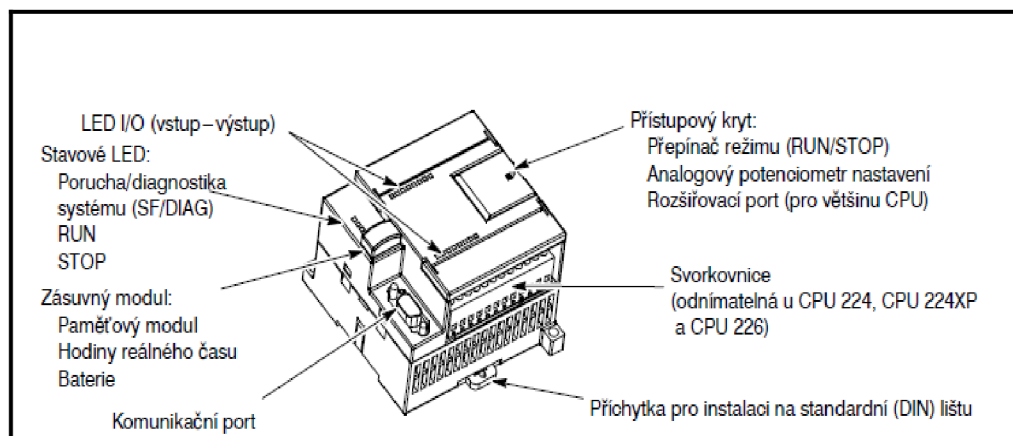
Redukční ventil je nedílnou součástí každého hydraulického obvodu. Zaručuje udržení tlaku v obvodu za předpokladu nutnosti snížit tlak hydraulického oleje od čerpadla na požadovanou hodnotu. Redukční ventil jsem zvolil ZDR10D z katalogového listu firmy BOSCH REXROTH RE 26585 Parametry získané z katalogu jsou zapsány v tab. 9.

Tabulka 9 Redukční ventil - použité veličiny pro model

Značka veličiny	Popis veličiny	Použitá hodnota v modelu	SI jednotka
P	nastavitelný tlak ventilu	660	Bar
	nastavený tlak	110	Bar
	koeficient pr\acute{u}toku	0,7	
R_k	Reynoldsovo kritické číslo	12	
	plocha prosaku	$1 \cdot 10^{-12}$	
	plocha pr\acute{u}toku	55	mm ²

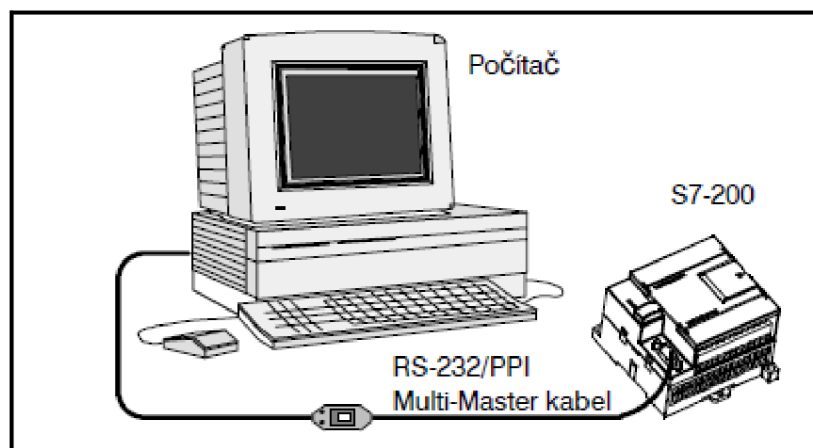
5 Simatik S7-200

Systém Simatic je malý programovatelný automat (mic-PLC) snadno naprogramovatelný pomocí Micro/WIN. Obrázek 28 znázorňuje PLC a popisuje jeho jednotlivé části.



Obrázek 30 PLC a jeho jednotlivé části

Systém SIMATIC umožňuje programovací připojení **PŘÍMÉ** => PC se softwarem STEP 7 pomocí komunikačního kabelu RS232 / PPI Multi-master, RS485 / PPI Multi-master, dnes často využívaný USB / PPI Multi-master nebo kartou komunikačního procesoru (CP) a MPI kabelem.



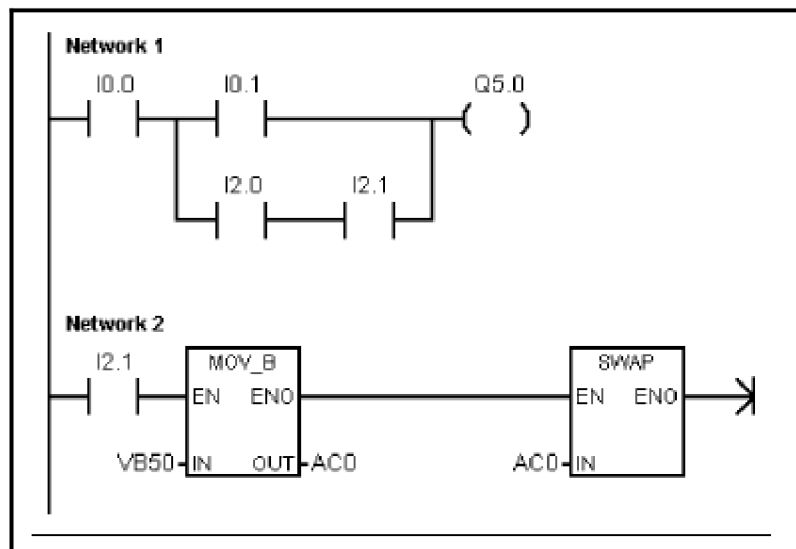
Obrázek 31 Propojení PC / Simatic

Program lze vytvořit následujícími způsoby:

- editor LAD
- STL = výpis příkazů
- FBD = funkční

5.1 Editor LAD

Celý název je Editor Ladder. Jedná se o tzv. kontaktní schéma. Program se zobrazuje v grafické podobě podobné schématu. V kontaktních místech program umožňuje simulovat tok elektrického proudu od zdroje přes logické vstupní podmínky, které poté aktivují výstupní logické podmínky. Obsahem LAD je levá napájecí lišta, která je pod stálým napětím. Sepnuté kontakty umožňují tok energie na další prvky a kontakty, které nejsou sepnuty a energii blokují. Logika se dělí do spojitých sítí tzv. NETWORK a CPU, které provádí vždy jeden NETWORK zleva doprava a shora dolů



Obrázek 32 LAD editoru.

Výhody editoru LAD:

- vhodný pro začínající programátory
- grafické zapojení je jednoduše pochopitelné, a proto je velmi rozšířené
- použitelný s instrukčním souborem SIMATIC nebo IEC 1131-3
- pro zobrazení LAD lze využít editoru STL

5.2 STL = výpis příkazů

Pomocí Editor STL se zobrazuje program jako znakově orientovaný programovací jazyk. Vkládáním textových příkazů se vytváří řídicí program, který by pomocí LAD nebo FBD editorů a jejich určitých omezení nemohl být realizován. To je způsobeno STL editor programovaným v S7-200 jazyce, pro který neplatí omezení, tak aby se zajistilo správné nakreslení diagramu v grafickém jazyce. Jak na obr. 33 vidíme vzniklý kód je velmi podobný

strojovému kódu. Každá instrukce se provádí podle daného pořadí, která je určena v programu, vždy shora dolů. Pro řešení řídicí logiky se využívá v STL logický zásobník, do kterého vkládáme instrukce pro manipulaci se zásobníkem.

LD	I0.0	//Načtení jednoho vstupu
A	I0.1	//Logický součin s jiným vstupem
=	Q1.0	//Zapsání hodnoty na výstup 1

Obrázek 33 Zázpisu editoru STL

Výhody STL:

- v některých případech jediná možnost vyřešení logického problému
- využitelný pro prohlížení nebo editaci programů vytvořených pomocí LAD nebo FBD

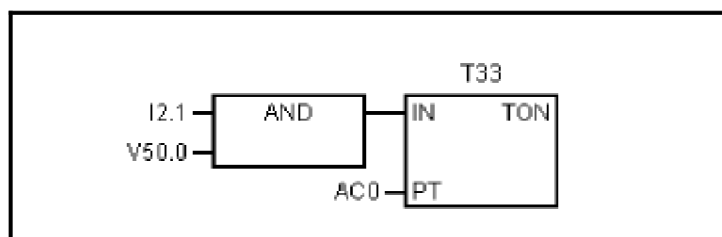
Nevýhody STL:

- náročnější na zkušenost programátora
- lze použít pouze s instrukčním souborem SIMATIC
- v některých případech nelze editor LAD, FBD pro zobrazení programu v editoru STL

5.3 FBD = funkční blok

Program je zobrazován v grafické podobě připomínající běžná logická schémata. Oproti editoru LAD neobsahuje kontakty, cívky, ale instrukce, které je nahrazují a objevují se jako blokové instrukce. U FBD editoru se nesetkáme s pojmem levých a pravých lišt.

Používá se termín SIGNÁLOVÝ TOK pro vyjádření analogického pojmu toku přes logické bloky. Cesta logické "1" prvky FBD označujeme jako "Signálový tok". Vstupní a výstupní hodnotě signálového toku můžeme přímo přiřadit operand. Základní logika spočívá v propojení těchto bloků, což znamená výstup jedné instrukce, která se může použít pro aktivaci jiné instrukce. Takto lze vyřešit množství různých logických problémů.



Obrázek 34 Zápís FBD editoru.

Výhody FBD:

- styl zobrazení umožňuje lepší sledování toku programu
- možno využít s instrukčním souborem SIMATIC nebo IEC 1131-3
- pro zobrazení lze využít vždy editor STL

6 ŘÍZENÍ HYDRAULICKÉ SOUSTAVY

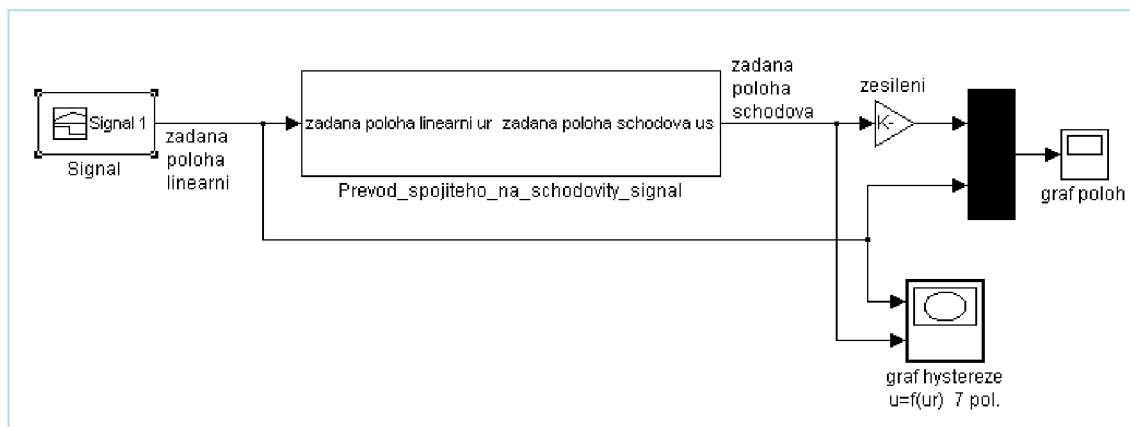
6.1 Řízení vytvořené pomocí Matlab/Simulink

6.1.1 Zapojení obvodu převodníku spojitého na nespojitý signál

Schéma znázorněné na obrázku 35 slouží k odladění “Převodníku spojitého na nespojitý signál” (převodník). V obvodu je použit blok signál, subsystém ”převodník“, zesílení a bloky s grafickým výstupem.

Převodník je složen z bloků relé a sčítacích bloků jak vidíme na obr. 35. Spojitý signál (žádanou hodnotu) generuje blok Signál, u kterého jsem si zvolil průběh signálu tak, abych vyzkoušel celý rozsah žádané hodnoty, pro kterou je převodník navrhován. Žádaná hodnota vstupuje do bloku

Subsystém Převodník, kde je spojitý signál převeden na signál nespojitý (schodovitý). Celkový průtok je rozdělen po 1/3 v obvodu se dvěma ventily a po 1/7 v se třemi ventily. Výstupní hodnota nespojitého signálu jsou násobky čísla 2 a velikost spojitého signálu je $<-1,1>$. Aby byl možno v grafu porovnávat oba signály zavedl jsem zesílení pro výstupní signál Převodníku velikosti 1/6.



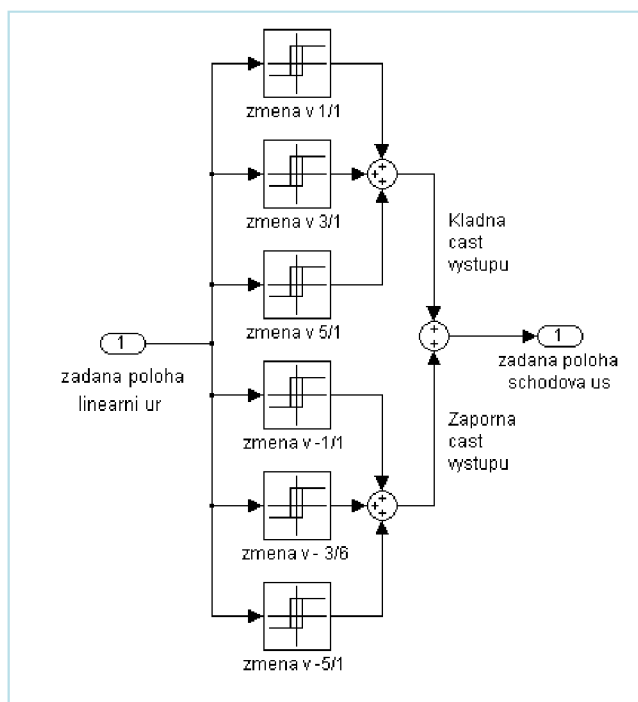
Obrázek 35 Schéma zapojení převodu spojitého signálu na nespojitý signál pro dva a tři rozvaděče

6.1.1.1 Převod spojitého signálu na nespojitý signál

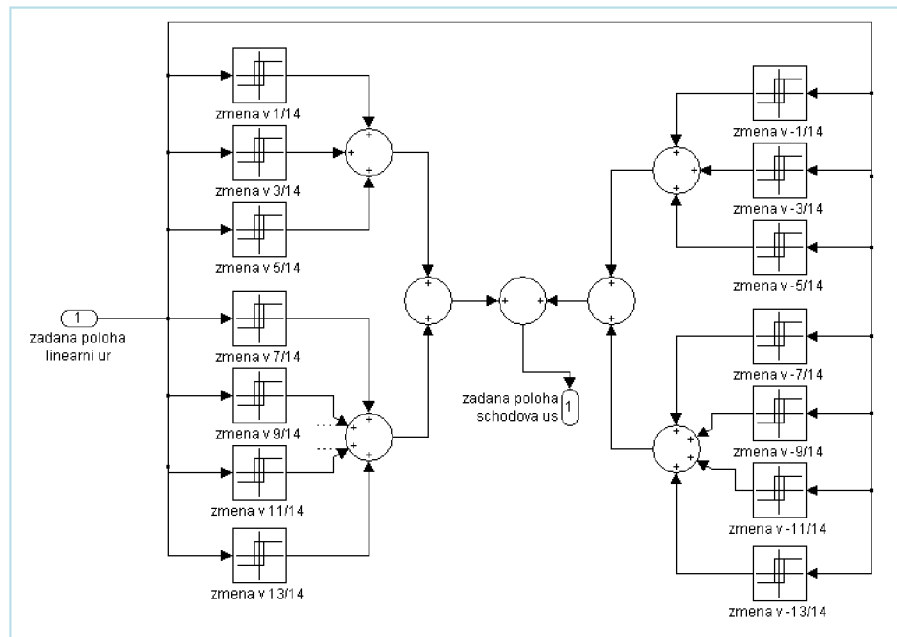
Převod signálu se realizuje pomocí BLOKŮ RELÉ v závislosti na velikosti žádané a požadované hystereze. Bloky obsahuje subsystém Převodník převádějící žádanou hodnotu (spojitý signál) na schodovitý signál (nespojité signál). Okamžik sepnutí/rozepnutí prvku je dáno hodnotou v poli Switch on point/Switch off point, ke které se přičítá/odečítá velikost hystereze.

Blok čeká až do okamžiku, kdy hodnota dosáhne nastavené hodnoty upravené o hysterezi. Při sepnutí relé se na výstupu bloku vygeneruje výstupní signál přednastavené hodnoty. Sčítání výstupních signálů jednotlivých bloků Relé dochází v subsystému.

Vzniklý signál vstupuje do ROZHODOVACÍHO bloku. Počet prvků RELÉ odpovídá počtu možných kombinací rozvaděčů. Průběh tohoto převodu zaznamenává graf. 2 a 3, ve kterém se projevuje i hystereze. Velikost a tvar hystereze znázorňuje Graf 4 a 5, kde je vidět hystereze výstupního schodovitého signálu. Velikost hystereze udává oblast tzv. necitlivosti, kdy řídicí obvod nereaguje na požadavek a vyčkává na překročení oblasti necitlivosti směrem nahoru nebo dolů. Velikost hystereze volíme v nastavení Bloku Relé a její žádaná hodnota odpovídá skutečné hodnotě.

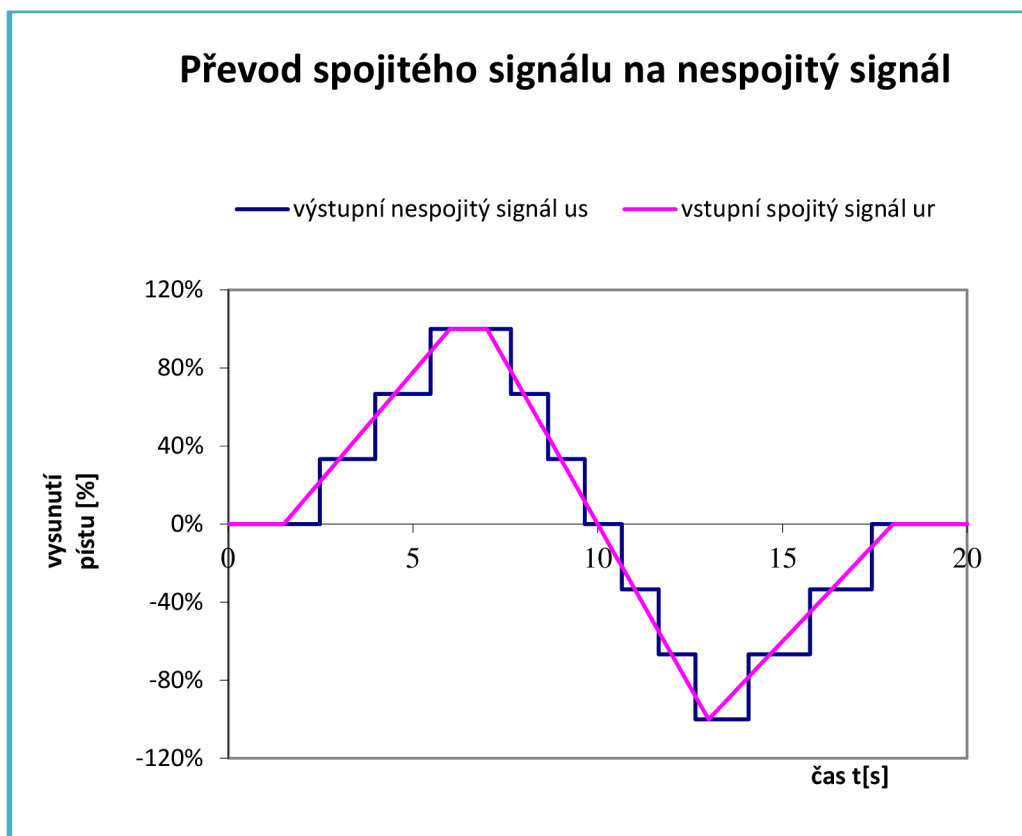


Obrázek 36 Schéma zapojení převodu spojitý signál na nespojitý signál pro 2 rozvaděče

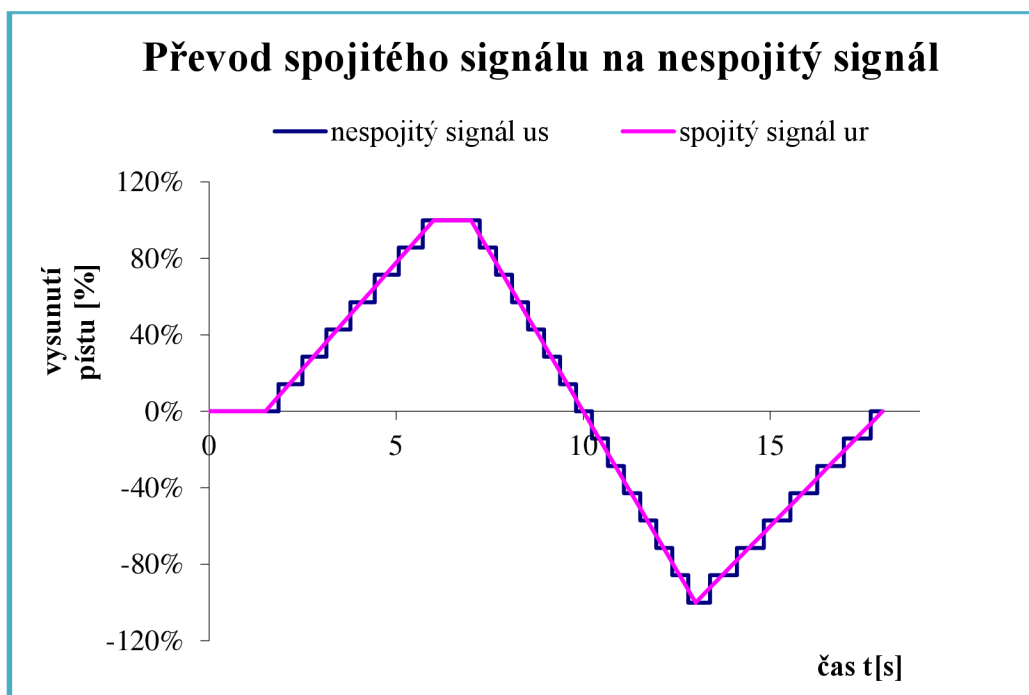


Obrázek 37 Schéma zapojení převodu spojitého signálu na nespojitý signál pro 3 rozvaděče

U grafu 3 a 4 převodu spojitého na nespojitý signál je patrný menší rozpor od předpokládaného průběhu. Předpokladem a snahou nastavení byl průchod spojitého signálu střední hodnotou schodovitého signálu. Křivka nespojitého signálu je posunuta cca o 0,02s doprava oproti nespojitému signálu. Velikost nepřesnosti pro oba grafy je velmi malá, proto ji mohou zanedbat.



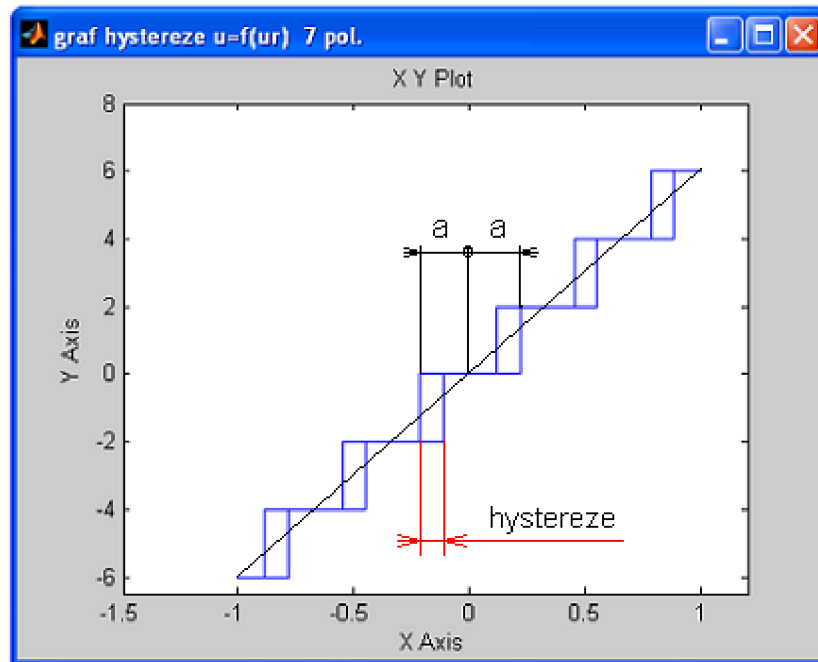
Graf 2 Převod spojitého signálu na nespojitý signál pro dva rozvaděče



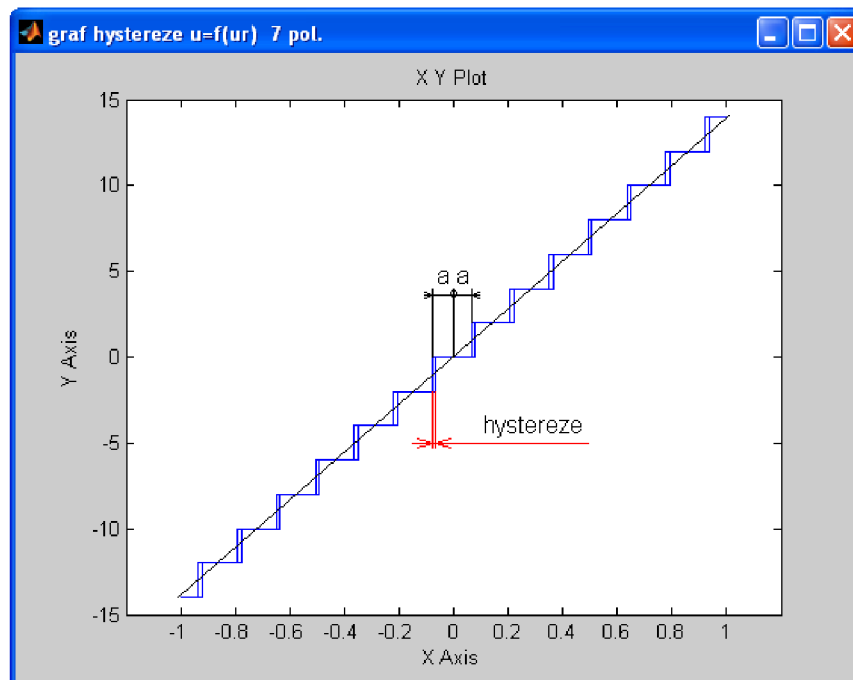
Graf 3 Převod spojitého signálu na nespojitý signál pro tři rozvaděče

Grafy 2 a 3 mají průběhy dle předpokladů. Není nikde patrná odchylka hodnoty a to ani při přechodu grafu nulou, kdy může dojít k posunutí kladné poloroviny grafu doprava oproti

záporné polorovině grafu a tím prodloužení doby výdrže na hodnotě "0". Posunutí grafu by bylo způsobeno špatně zvolenou hodnotou hystereze a křivka, kterou si můžeme představit procházet střední hodnotou (černá křivka) je vzdálena o stejnou vzdálenost od hran grafu.



Graf 4 Hystereze s dvěma ventily

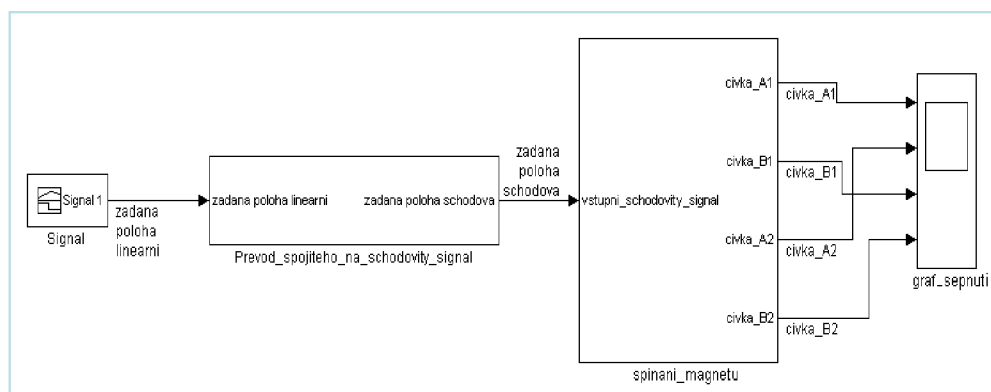


Graf 5 Hystereze se třemi ventily

6.1.2 Zapojení obvodu rozhodovací blok

Zapojení obvodu vychází z předešlého zapojení obvodu Převodníku na obr. 38, je rozšířen o rozhodovací blok. Rozhodovací blok zpracovává nespojitý signál přiváděný z Převodníku a podle nastavení Function bloků uvnitř Rozhodovacího bloku generuje signál na jednotlivých výstupech.

Počet výstupů je závislý na počtu elektromagnetů rozvaděčů k bloku připojených. Obvod se skládá z generátoru signálu “Signal“, Převodníku, Rozhodovacího bloku (spínání_ventilů) a grafického výstupu do kterého jsou svedeny veškeré výstupy z rozhodovacího bloku.



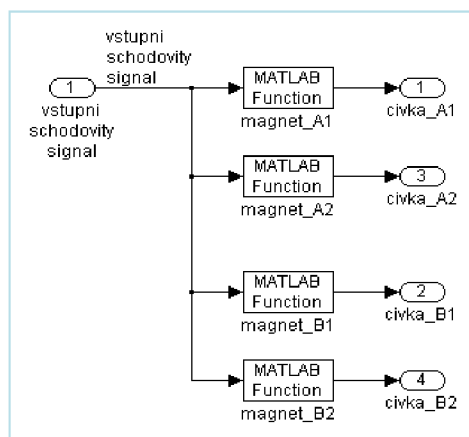
Obrázek 38 Rozhodovací blok

6.1.2.1 Rozhodovací blok

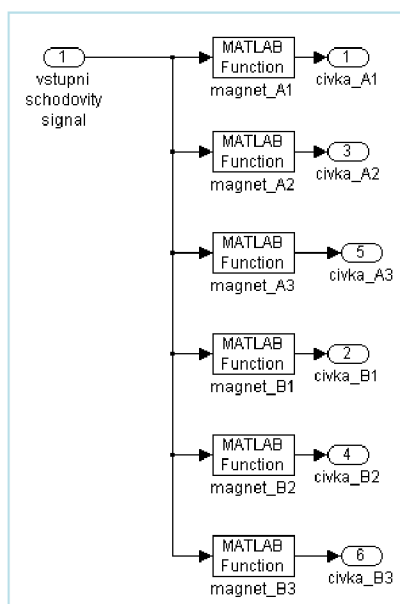
Subsystem rozhodovacího bloku je tvořen 4 nebo 6 Function bloků obr.39 a 40 obsahující podmínky, při kterých má být rozvaděč nebo skupina rozvaděčů sepnuta. Hodnota výstupního signálu z bloku je 1 při splnění podmínky nebo 0 není-li podmínka splněna.

Zápis podmínky může vypadat takto “ $(u == 2) + (u == 6)$ “.

Hodnoty 2 a 6 znamenají „, když na vstupu bloku má signál hodnot 2 nebo 6 pak na výstupu z bloku je generována hodnota 1 jinak je 0 “. Protože předem známe elektromagneticky ovládané rozvaděče, které budou simulaci použity, můžeme akceptovat i skutečnost, že výstupní signál z bloku má hodnotu 1 a ovládací signál elektromagnetu je nastaven na hodnotu 0,02. Tato hodnota odpovídá pohybu šoupátka v rozvaděči (20mm).



Obrázek 39 Schéma zapojení Rozhodovacího bloku pro dva ventily



Obrázek 40 Schéma zapojení Rozhodovacího bloku pro tři ventily

6.2 Řízení pomocí Simatic S7-200 a MicroWIN Step7

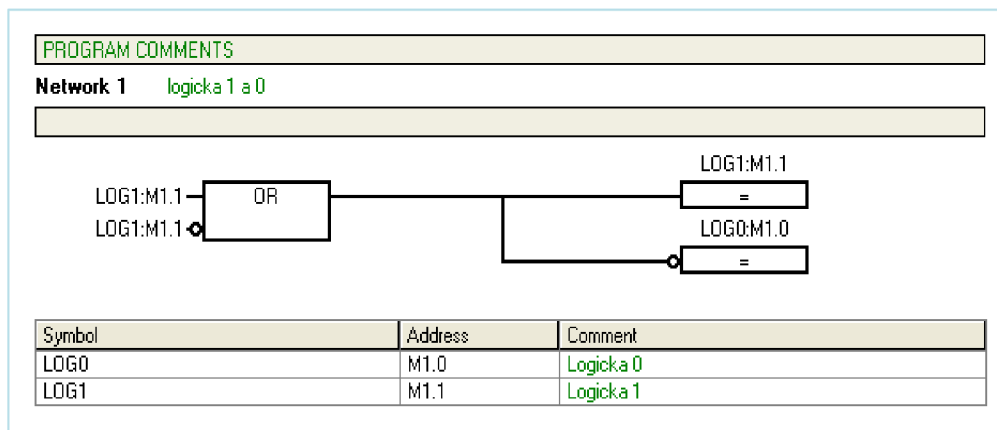
Jako alternativní způsob řízení simulovaného hydraulického obvodu jsem vytvořil program v MicroWIN/Step7 pro Simatic S7 (PLC).

Ze tří způsobů programování Simaticu jsem využil editor FBD.

Při vytváření programu jsem postupoval po dílčích cílech, které rozdělili celý program do několika částí v hlavním programu tzv. "MAINU":

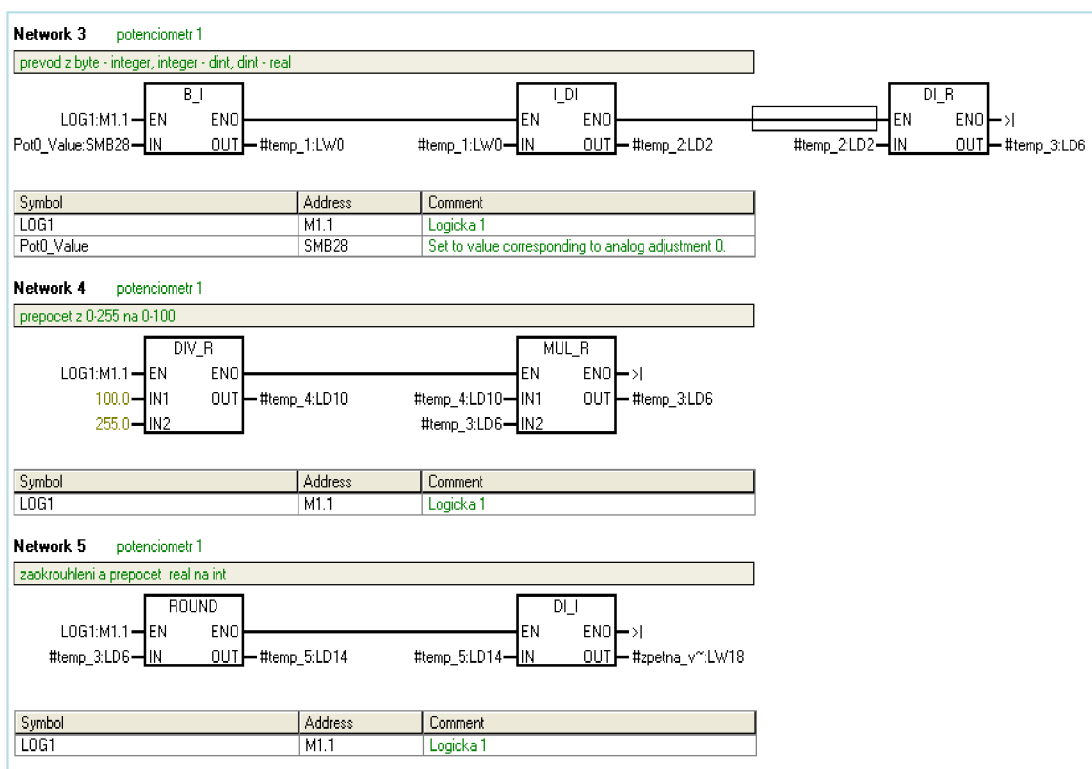
- a) V hlavním programu viz. obr.41 jsem nejprve vytvořil pomocí bloku OR logickou "1" a "0" za pomoci přivedeného signal. Tato podmínka mi zaručuje vždy na výstupu lodickou "1". Tuto logickou "1" použiji pro ovládání ostatních bloků programů. Logická

“0“ se využívá pro testování obvodu, kdy potřebuji zavřít některé části obvodu a nechci danou část mazat.



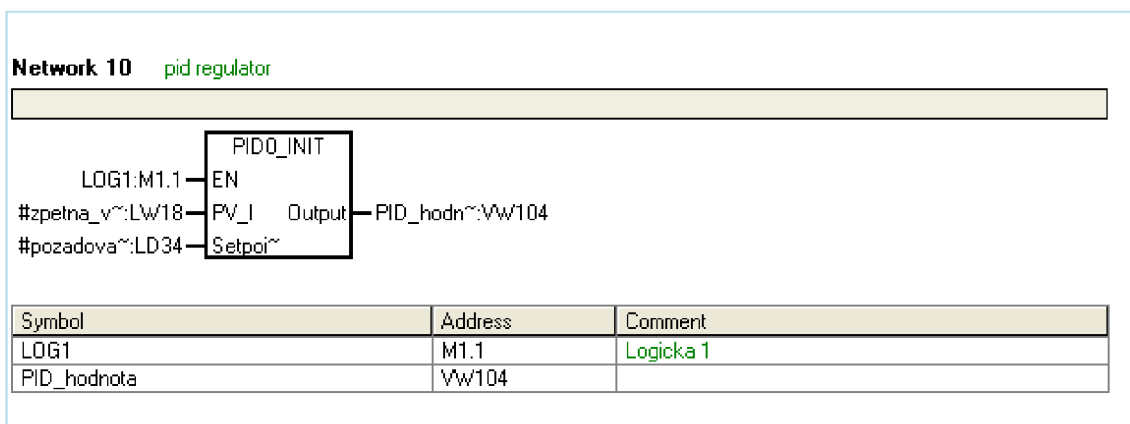
Obrázek 41 Logická 1 a 0

- b) Pro částečné vyzkoušení programu v PLC jsem využil dvou potenciometrů zabudovaných v PLC a použil je k simulování žádané hodnoty a skutečné hodnoty. Abych mohl tento krok vytvořit, musím signál potenciometrů převést z bytu na real pomocí real/int, potom z int/double int a nakonec double int/real. Dále pokračuji převedením 0-255 na 0-100. Jako poslední operaci se signálem, signál zaokrouhlím a převedu real/int. V dalším kroku jsem udělal podobný obvod i pro druhý potenciometr. Pouze jsem vynechal zaokrouhlení.



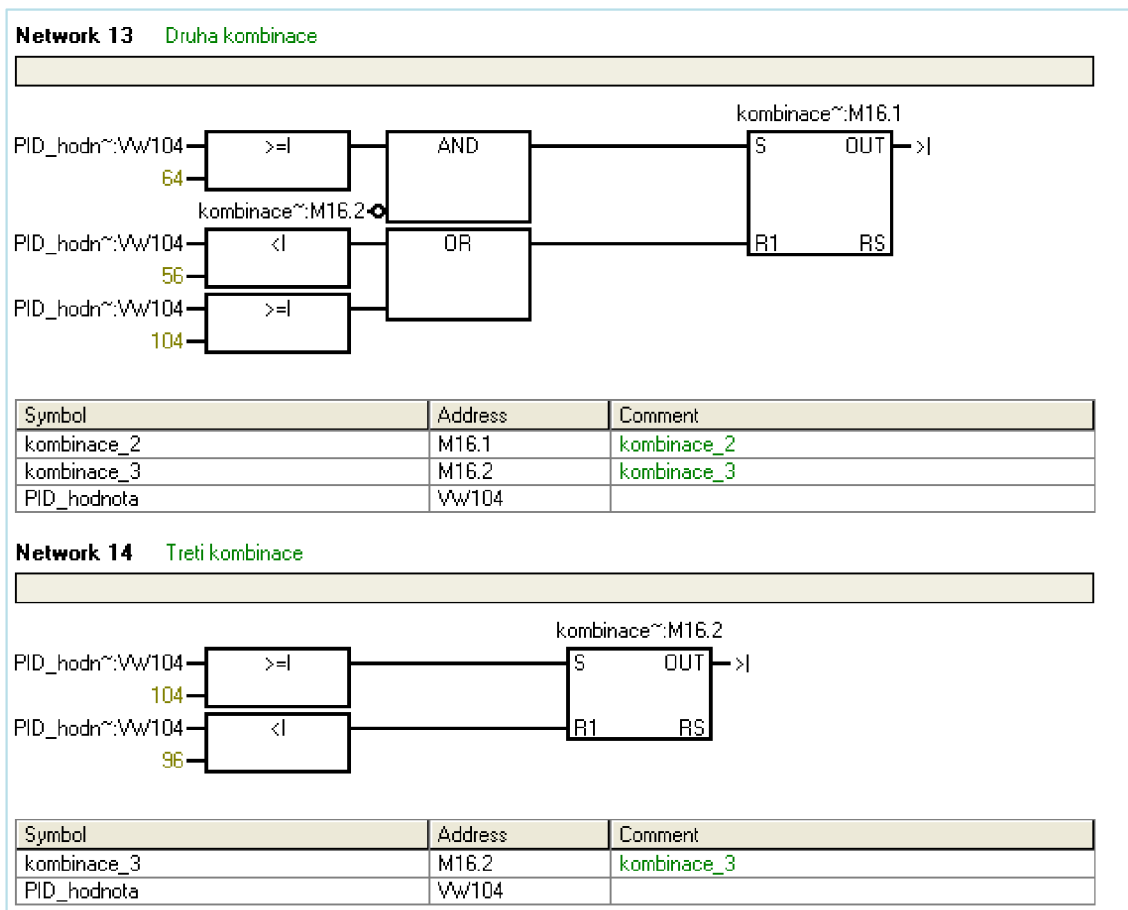
Obrázek 42 Potenciometr 1

- c) Jednou z nepostradatelných součástí řídicího obvodu je PID regulátor. PID vstupuje hodnota žádaná, skutečná poloha a výstupem je PID hodnota, s kterou dále pracují v ostatních blocích.



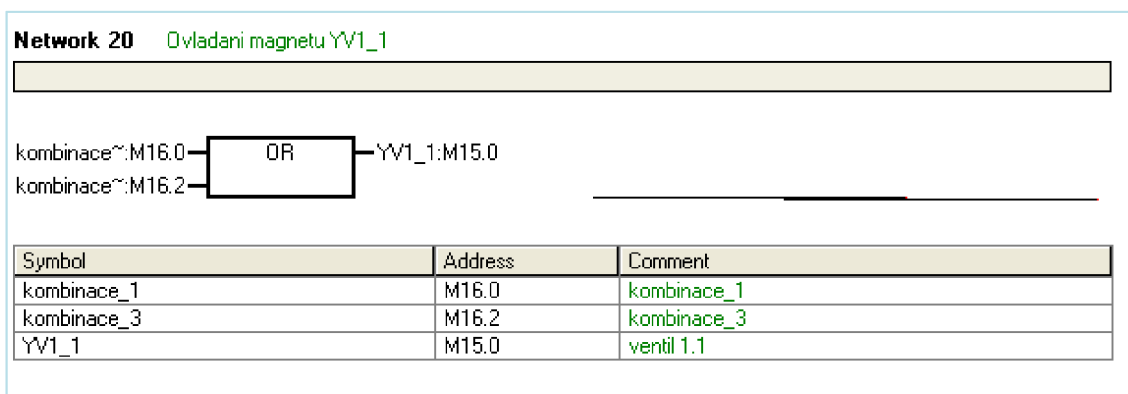
Obrázek 43 PID regulátor

- d) Převodník je zde nahrazen rozhodovacími bloky, které porovnají přicházející signál s pevně nastavenou hodnotou rozšířenou o hysterezi. Porovnávací hodnota pro dvou rozvaděčovou variantu pracující s kladným i záporným signálem začínající na hodnotě 20 a zvyšuje se o 40 s hysterezi ± 4 . Pro tří rozvaděčovou variantu pracující s kladným i záporným signálem začínající na hodnotě 20 a zvyšuje se o 20 s hysterezi ± 4 . Jsou-li splněny podmínky na porovnávacích blocích, vstupuje signál do AND, OR. Po splnění podmínek logických operátorů prochází RS klopným obvodem. Signál S je signál žádané hodnoty a R vstup aktivující se při splnění porovnávacích podmínek. Potom dojde k odpojení výstupní logické "1" a vygeneruje se logická "0".



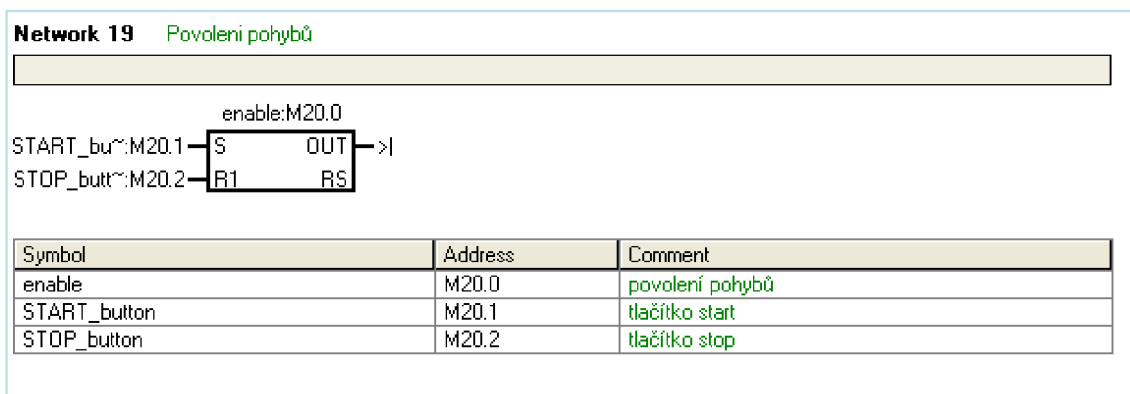
Obrázek 44 Druhá a třetí kombinace

- e) Předposlední částí je ovládání magnetu. Jsou-li splněny všechny předešlé potřebné podmínky, logický blok OR vygeneruje logickou “1”, která sepne zvolený elektromagnet hydraulického rozvaděče.



Obrázek 45 Ovládání magnetu

- f) Tlačítko START / STOP získá signál z mechanického tlačítka popřípadě získá impulz pro sepnutí z TOUCH PANELU, který odpovídá hodnotě logické “1”. Signál START je přiveden na konektor SET u RS klopného obvodu a tím klopný obvod vygeneruje logickou “1” pro spustění běhu program. Ukončení program se provede pomocí STOP tlačítka opět pomocí mechanického tlačítka nebo signal z TOUCH PANELU přivedený na RESET (R1) konektor, který vyruší (resetuje) obvod a tím se na výstupu vygeneruje logická “1”



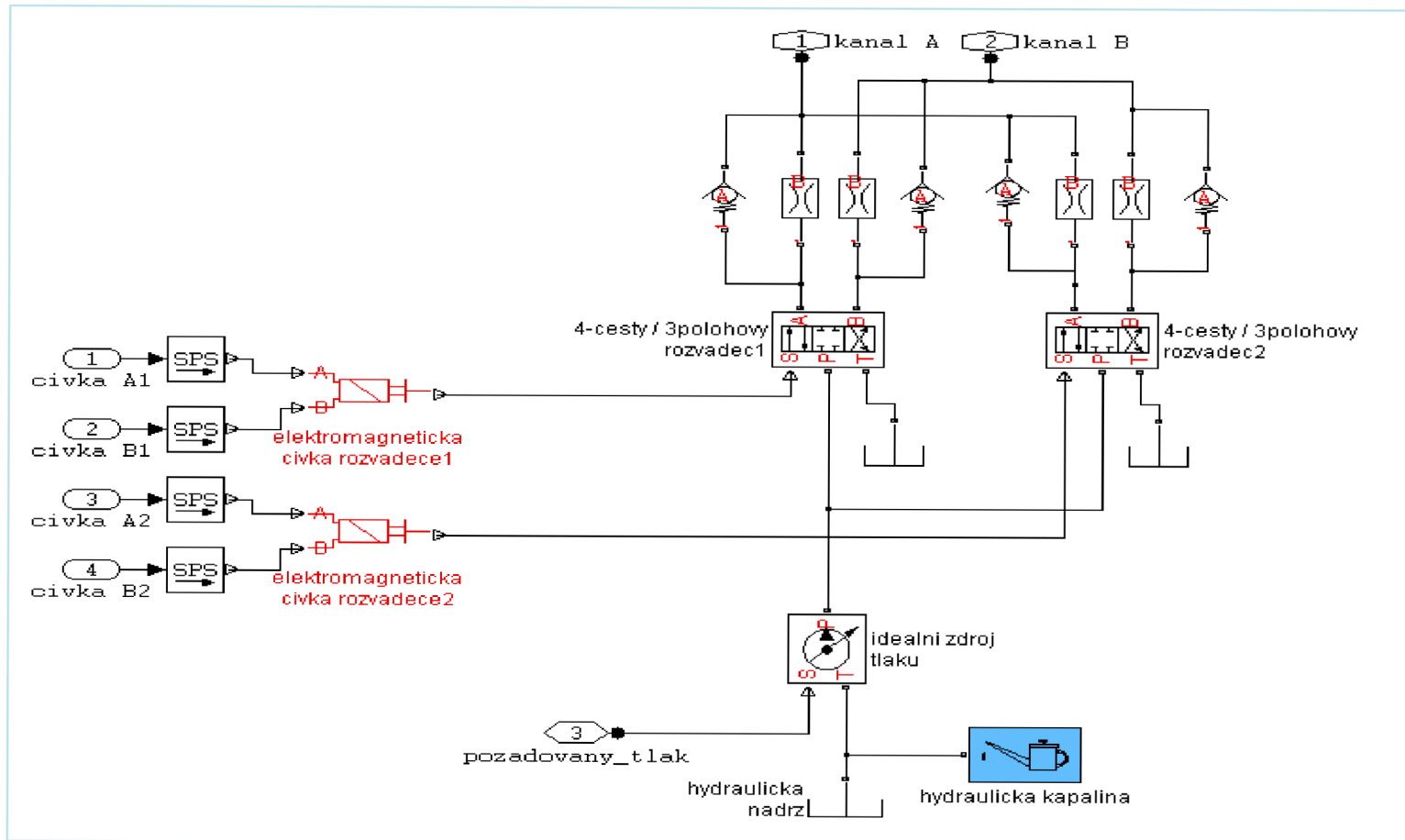
Obrázek 46 Povolení pohybů

7 HYDRAULICKÝ OBVOD

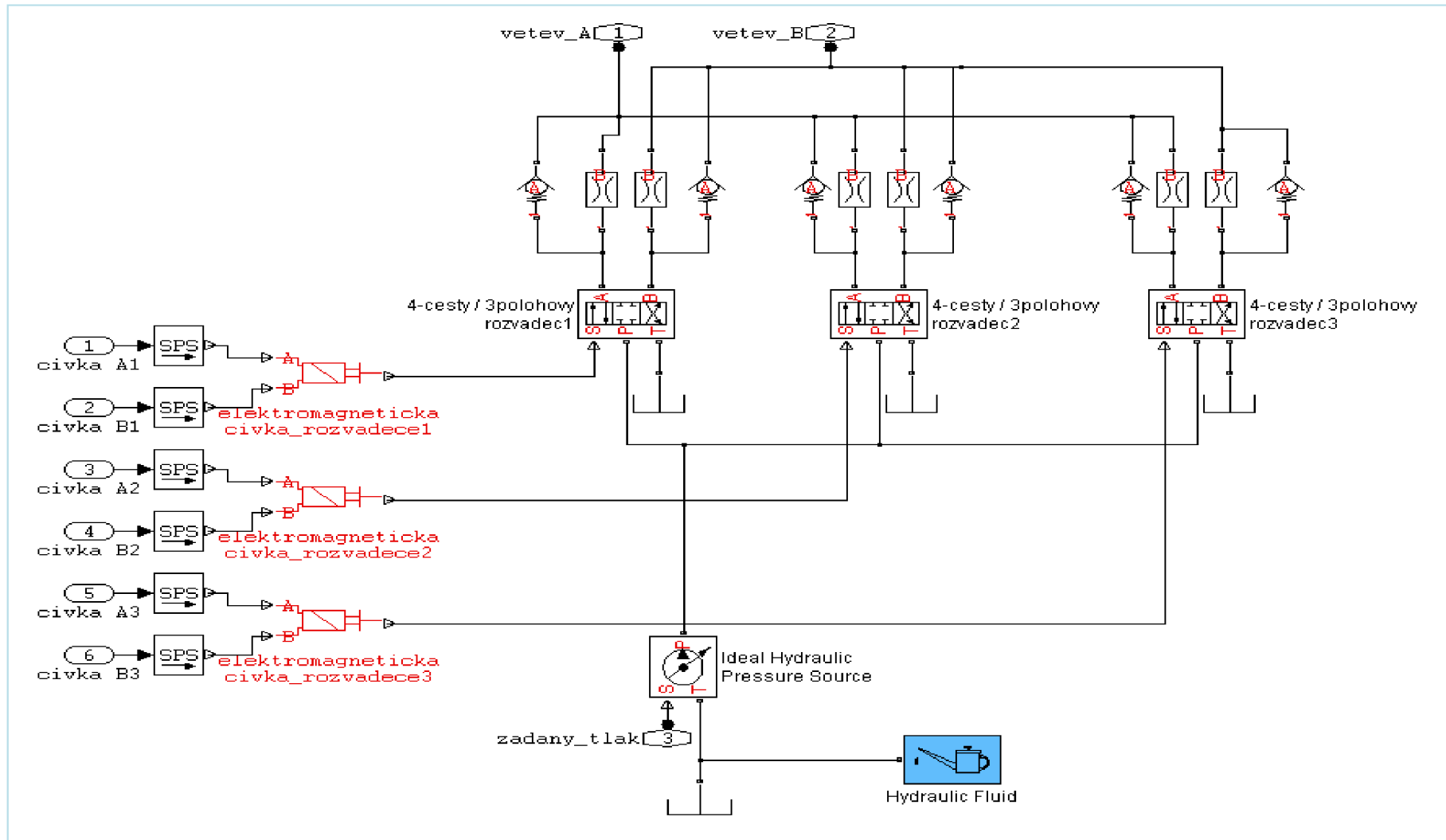
Hydraulický obvod zajišťuje přestavení servoválce v závislosti na sepnutí cívek rozvaděče řídicím obvodem. Na obr. 47 a 48 jsou znázorněny dva shodné hydraulické obvody lišící se pouze v počtu použitých rozvaděčů, nastavení řídicího obvodu a clon. Třetí hydraulický obvod na obr. 49, který znázorňuje spojitý řízení za pomoci proporcionálního ventilu. Tento obvod slouží k simulování spojitě polohové regulace.

Obvody jsou složeny z ideálního zdroje tlaku, elektromagnetické cívky, proporcionální cívky, šoupátkového rozvaděče, clon, zpětných ventilů, servoválce, zdroje hydraulického oleje a olejové nádrže. Sepnutím cívky 1, 2, 3 nebo jejich kombinací dojde k přestavení šoupátka hydraulického rozvaděče do požadované polohy odpovídající obrazci reprezentující směry průtoků tlakového a odpadního oleje. Hydraulický olej vystupující z rozvaděče prochází přes clonu, která zajistí snížení průtoků na požadovanou hodnotu. U obvodu s šoupátkem proporcionálně ovládaném clony ani zpětné ventily nejsou nutné. Šoupátko je řízeno spojitě a změnou průtočné plochy, kterou proporcionální cívku dosahujeme dosahujeme změnu průtoku jedním elementem.(šoupátkem).

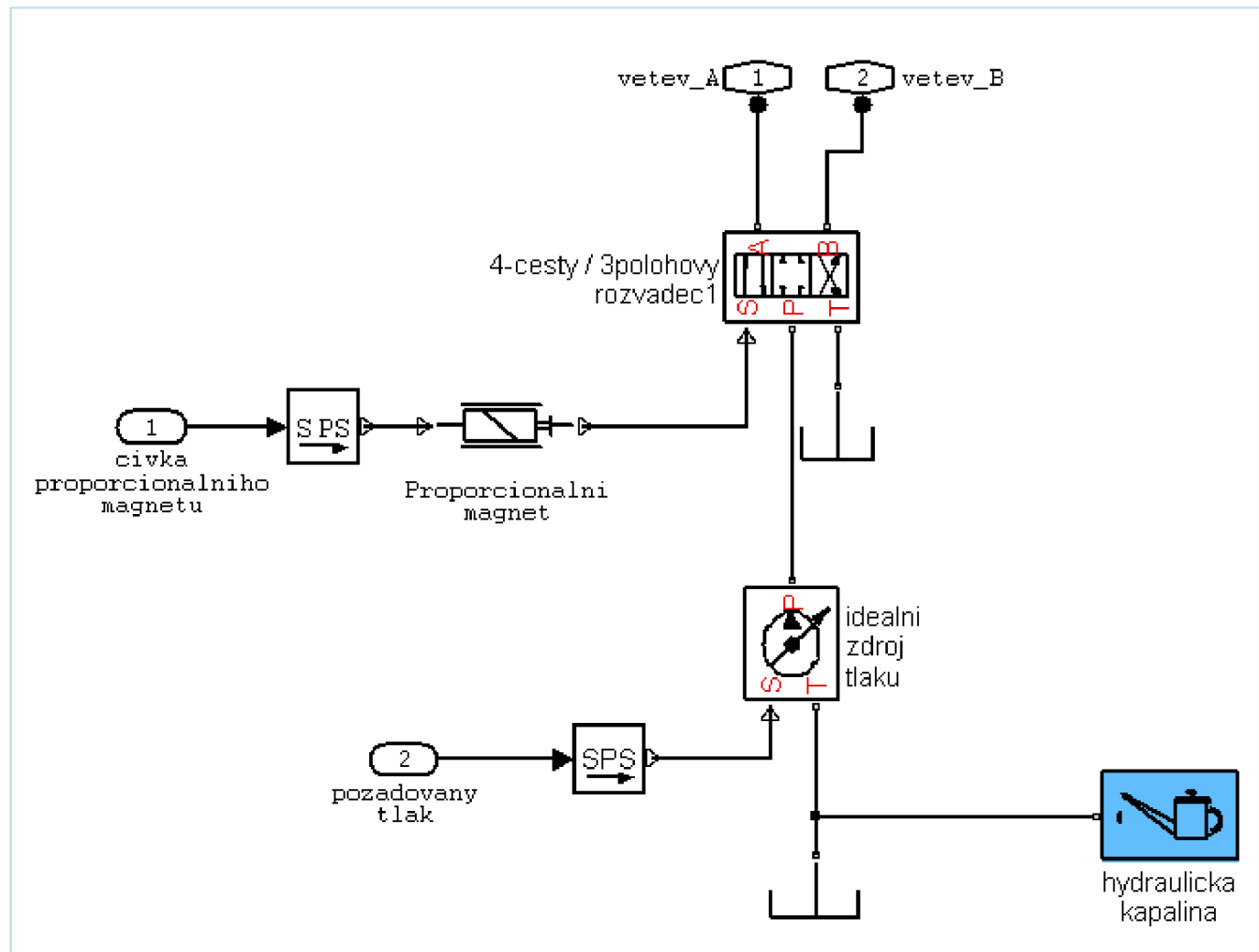
Velikost průtoku je přímo úměrné rychlosti vysouvání / zasouvání pístnice. Hydraulický olej vytlačovaný ze servoválce prochází přes zpětný ventil zajišťující snížení hydraulického odporu. Po protečení oleje rozvaděčem odtéká zpět do olejové nádrže. Odtud je olej nasát ideálním zdrojem tlaku a vrácen do hydraulického obvodu s požadovanou velikostí tlaku.



Obrázek 47 Hydraulický obvod se dvěma elektromagneticky ovládanými rozvaděči



Obrázek 48 Hydraulický obvod se třemi elektromagneticky ovládanými rozvaděči



Obrázek 49 Hydraulický obvod s jedním proporcionálně ovládaným rozvaděčem

8 REGULAČNÍ OBVOD POLOH (SERVOMECHANISMUS)

8.1 Rozbor regulované soustavy

V tomto řešení se snažím nahradit spojitý signál regulace průtoku (nejčastěji proporcionálně řízený ventil) nespojitým signálem (dvěma nebo třemi elektromagneticky ovládanými rozvaděči) s clonami ve výstupních kanálech (A , B). Řídicí obvod vytvořím v Matlab/Simulink, ale také se zaměřím na možnost řízení obvodu pomocí Simatic S7-200.

Regulovanou soustavu můžeme rozdělit na dvě hlavní části

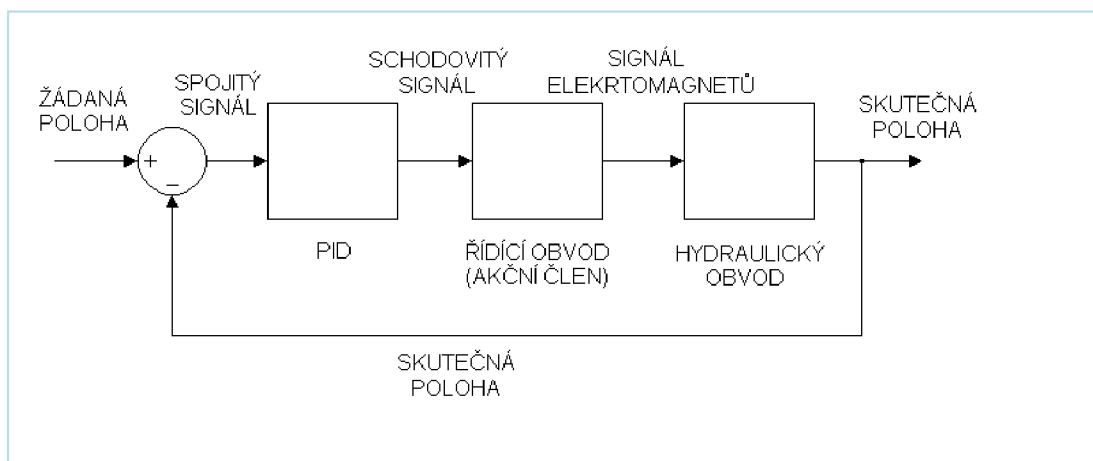
8.1.1 Řídicí obvod

Úkolem řídicího obvodu (akční člen) je reagovat na příchozí změnu (žádaná hodnota) od systému nebo technologie a po zpracování požadavku zajistit přestavení regulované soustavy (hydraulický obvod). Součástí řídicího obvodu je PID regulátor, převodník spojitého signálu na nespojitý signál a rozhodovacího bloku. Zpětnou vazbu realizuji od polohy servoválce, kterou odečítám od žádané polohy. Výsledná hodnota představuje rozdíl mezi současnou polohou a požadovanou polohou.

8.1.2 Hydraulický obvod

Hydraulický obvod je ovládán akčním členem ovládající spínání elektromagnetické cívky rozvaděče, pomocí které se přestavuje šoupátko rozvaděče. Podle typu šoupátka je rozváděn tlakový olej do požadovaných větví.

Hydraulický olej je nositelem tlakové energie působící na plochu pístu servoválce. Hydraulické servoválce využíváme tam, kde je potřeba velké síly pro pohyb s břemenem a požadavku na co nejmenších ztrát třením na pístu. Tyto požadavky jsou především kladeny u zkušebních strojů a u obvodů s velkou dynamikou pohyb, kde nelze využít elektrický nebo pneumatický mechanismus.

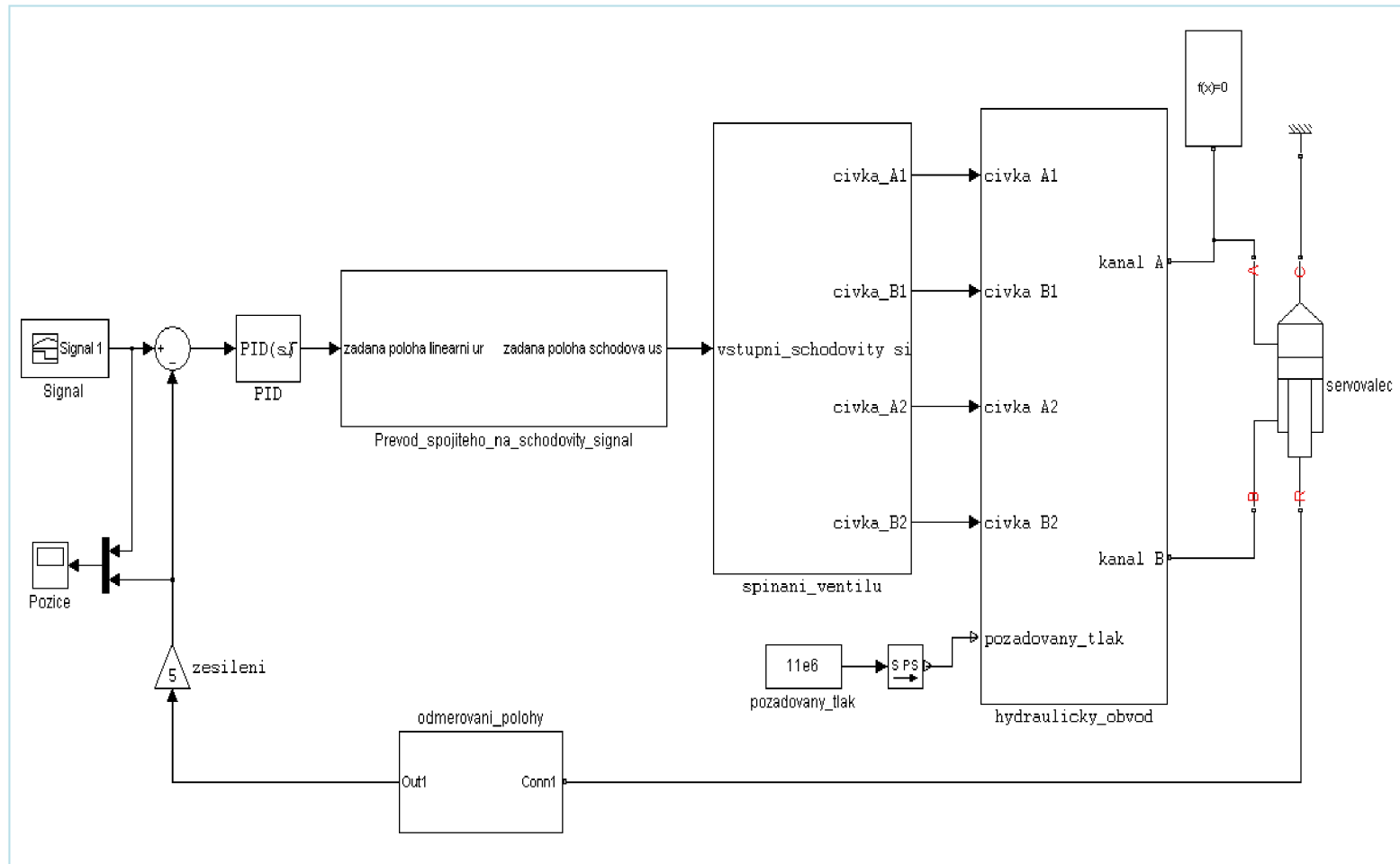


Obrázek 50 Blokové schéma obvodu

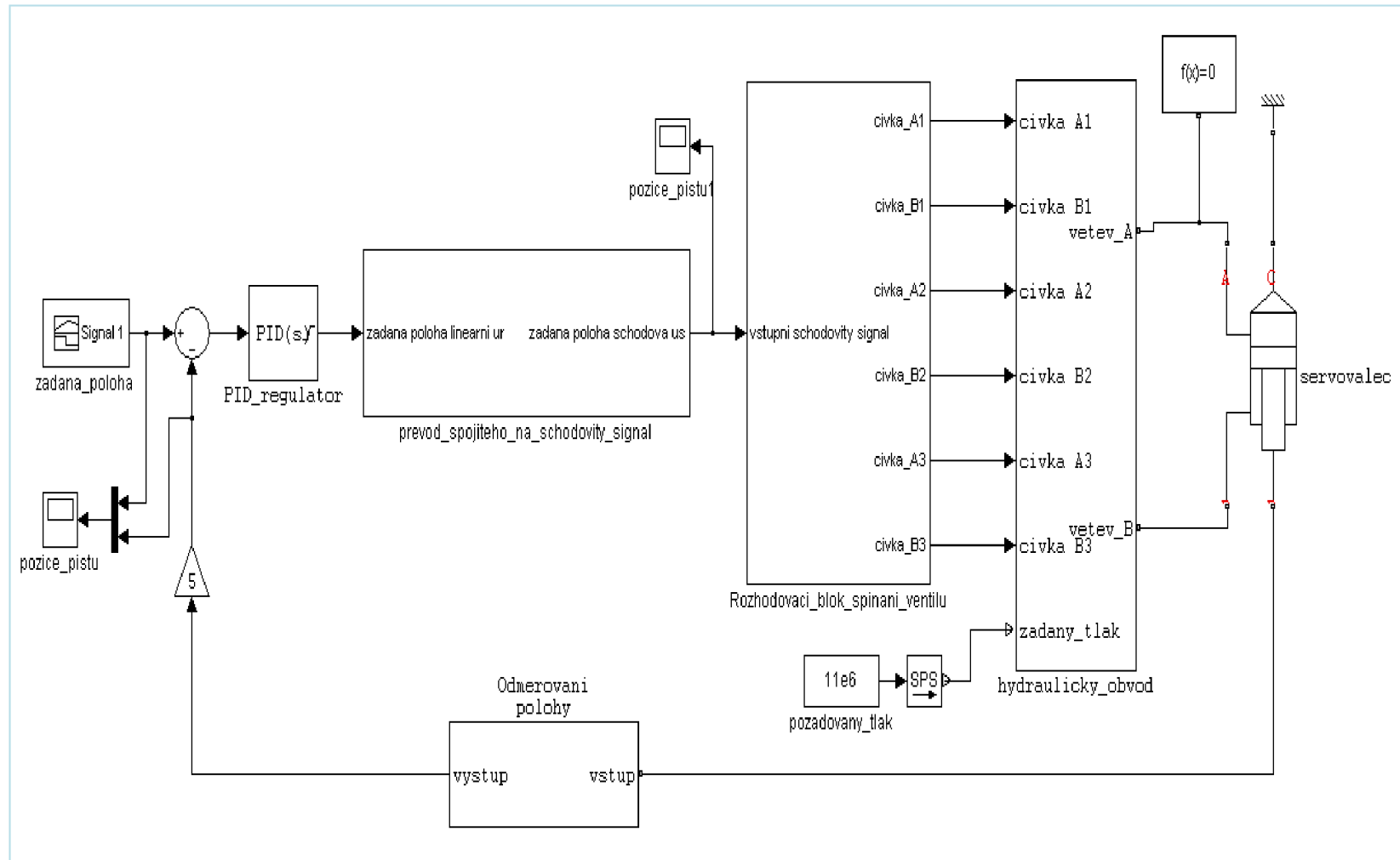
8.2 Celkový model regulované polohy

Regulovaný obvod má jednu regulační smyčku tvořenou PID regulátorem. Vstupní hodnotou je rozdíl žádané hodnoty a skutečné hodnoty ze snímače polohy servoválce. Výsledná hodnota po průchodu PID regulátorem vstupuje do převodníku, kde je převedena ze spojitého signálu (žádaná hodnota) na nespojitý (schodovitý) signál.

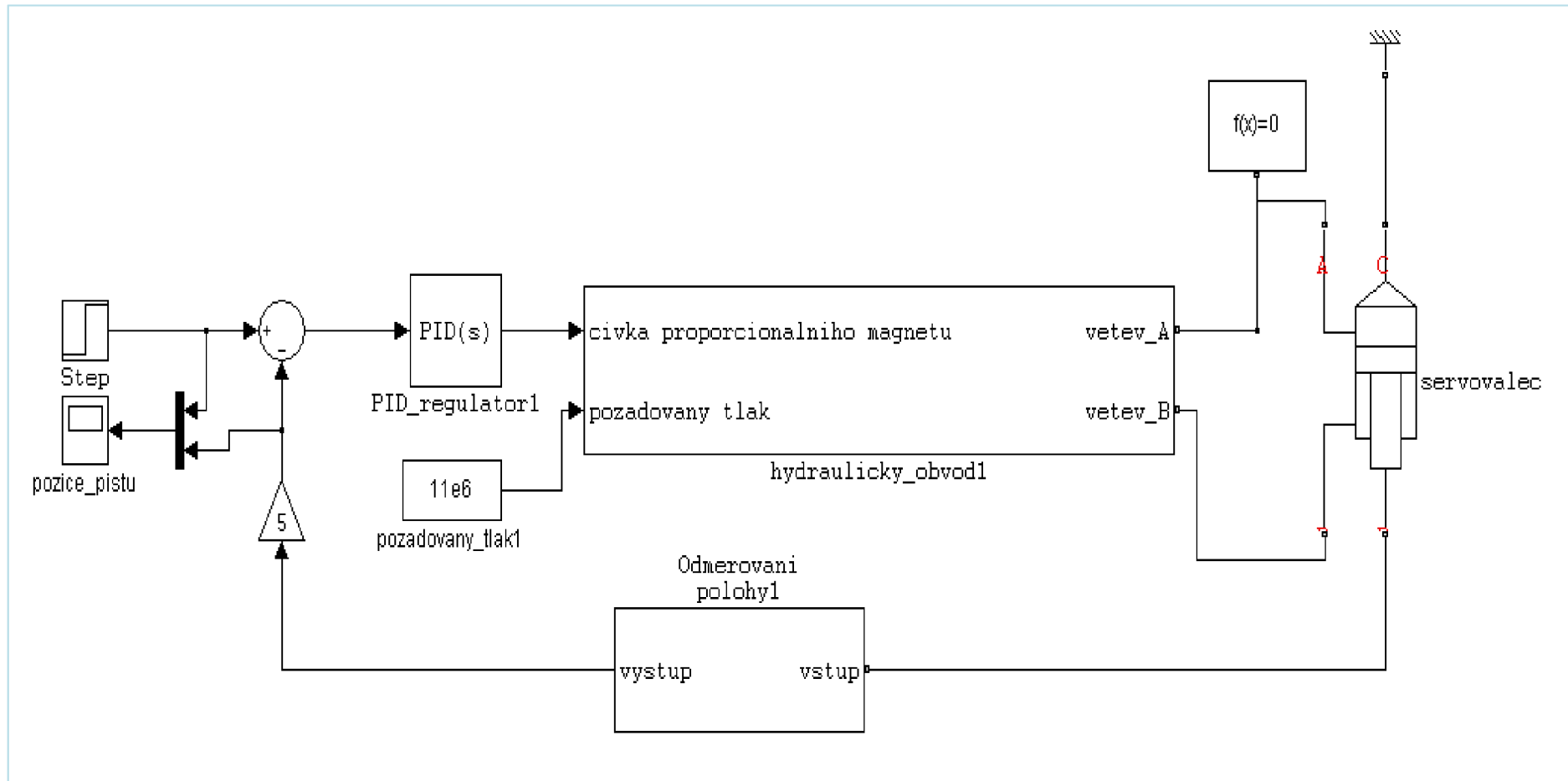
Převedený signál zpracuje rozhodovací blok a zvolí vhodné kombinace rozvaděčů reprezentující požadovaný průtok tlakového oleje, potřebný pro přestavení servoválce. Necitlivost regulace na požadavek přestavení byla pokusy nastavena, tak aby nedocházelo k rozkmitání obvodu častým požadavkem od regulace na přestavení servoválce. Na obr. 51 a 52 jsou znázorněny celková schémata zapojení regulované soustavy ve variantě se dvěma nebo třemi hydraulickými rozvaděči. Obr. 53 znázorňuje obvod spojitě řízený proporcionálním rozvaděčem.



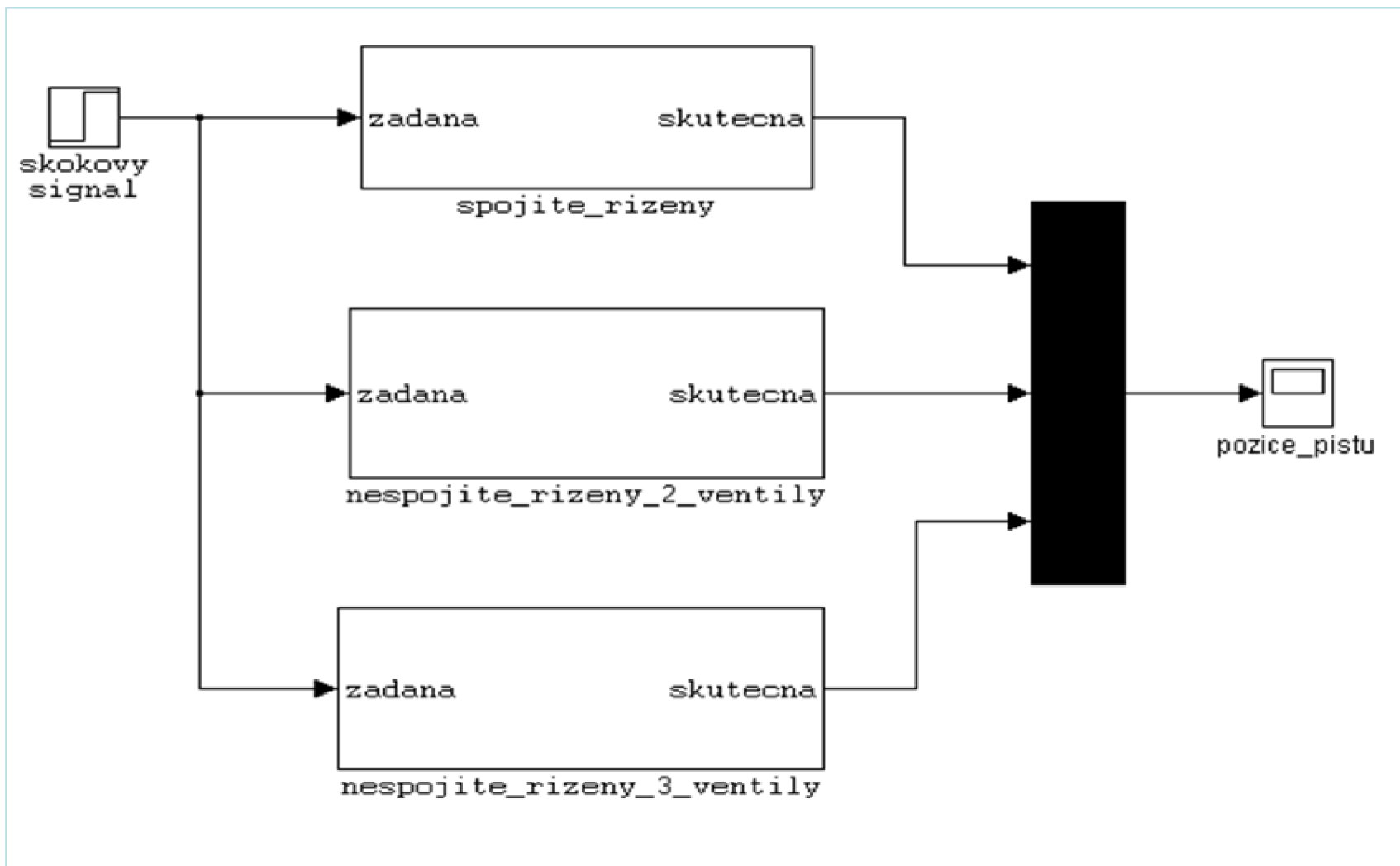
Obrázek 51 Regulovaná poloha se dvěma rozvaděči



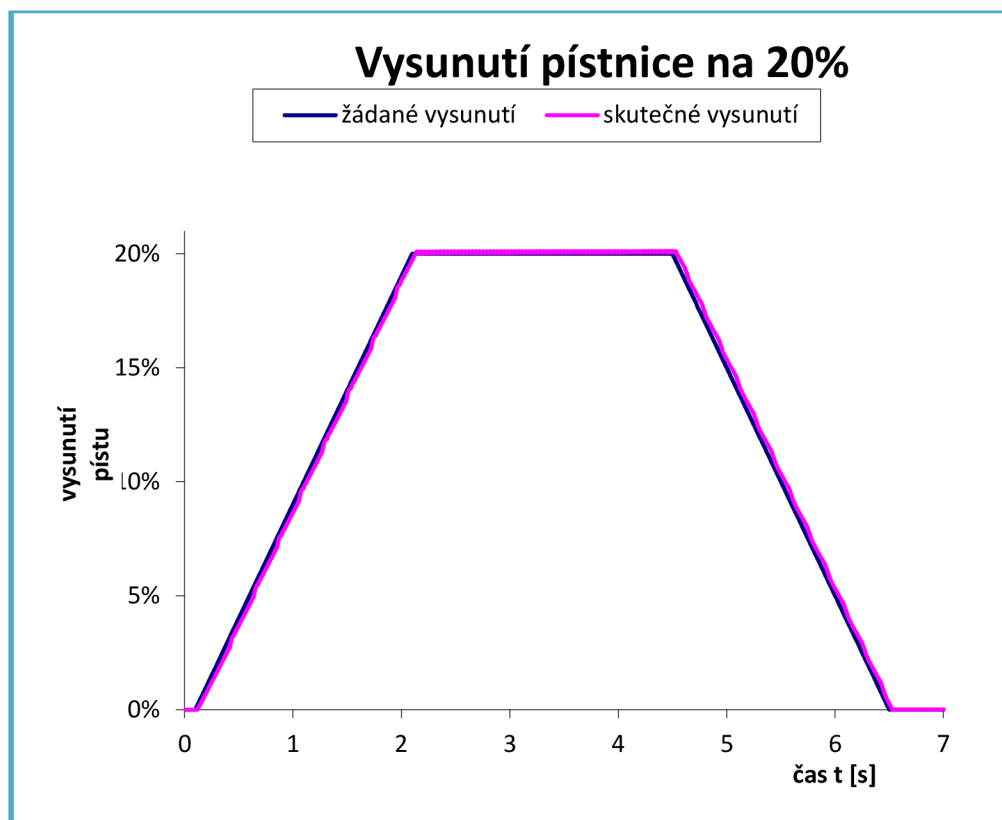
Obrázek 52 Regulovaná poloha s třemi rozvaděči



Obrázek 53 Regulovaná poloha s proporcionálním rozvaděčem

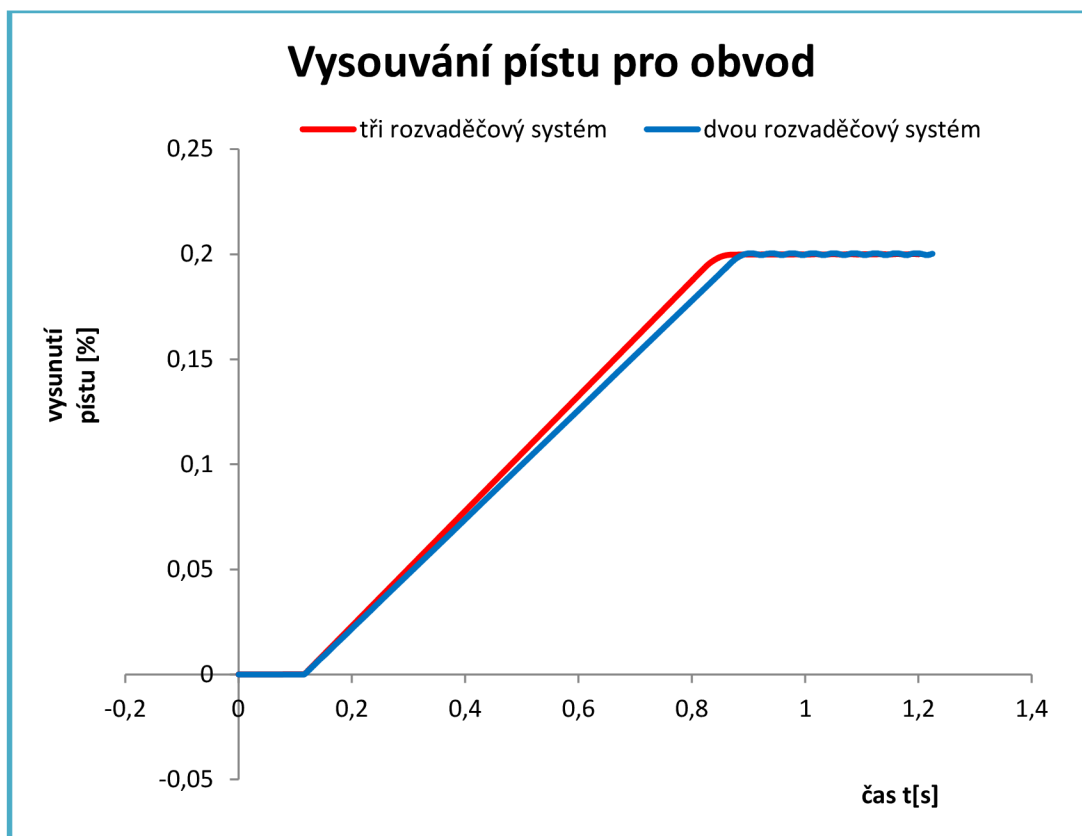


Obrázek 54 Obvod pro porovnání regulací



Graf 6 Průběh vysouvání/zasouvání pístnice po rampě na polohu 20% vysunutí

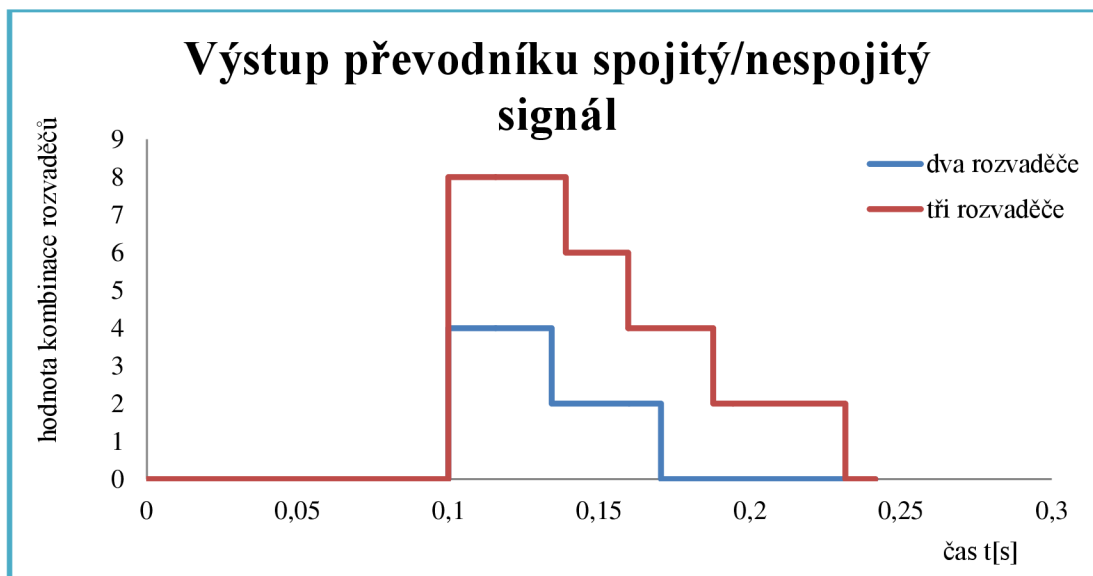
Na průběhu křivek v grafu 6 vidíme lineární průběh vysouvání pístnice a snahu regulace co nejlépe kopírovat žádanou polohu. Zanedbáme-li nepřesnosti vzniklé složitými výpočty, provádějící simulace a příliš malým nastaveným krokem simulace. Můžeme pak hodnotit průběh simulace grafu. 6 jako uspokojivý výsledek. Drobné nelinearity v grafu jsou způsobeny příliš velkým množstvím vygenerovaných dat.



Graf 7 Průběh vysouvání pístu pro obvod se dvěma a třemi rozvaděči

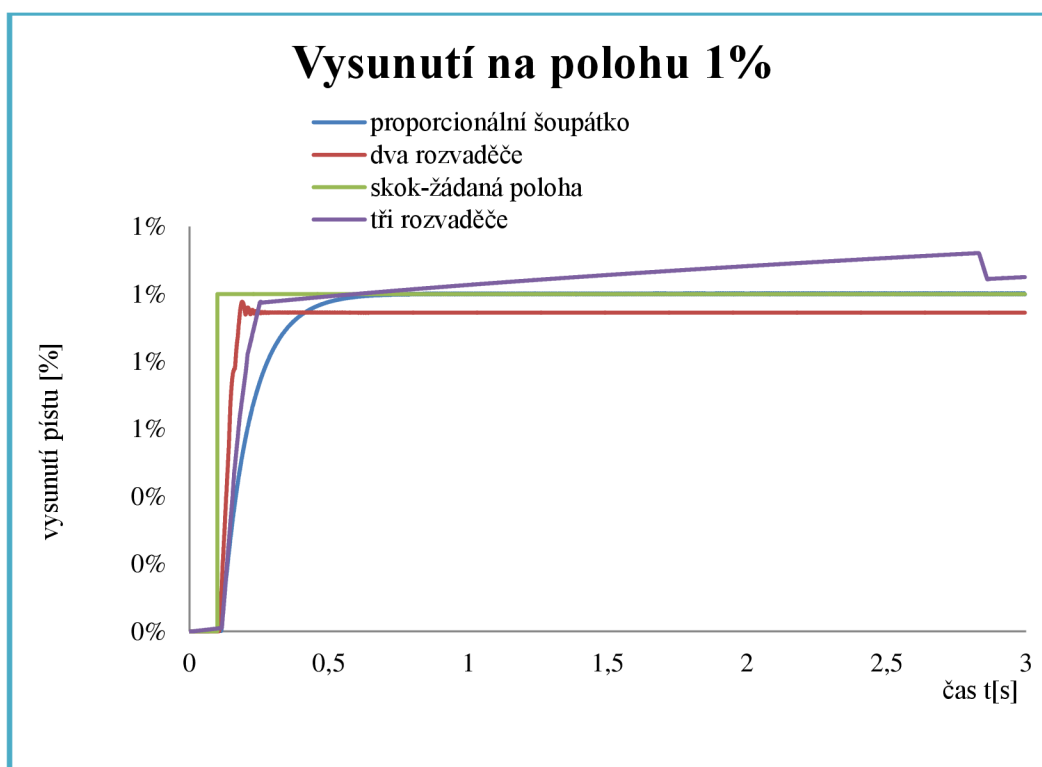
Výše vykreslený graf 7 demonstruje průběhy vysouvání a odladění PID regulátoru jednotlivých obvodů. Je zde zřejmé, že obvod se třemi rozvaděči je přesnější a rychlejší než obvod se dvěma rozvaděči. Obvod se dvěma rozvaděči při dosažení žádané polohy začne kmitat vlivem numerické nestability Matlabu.

9 VÝSLEDKY SIMULACÍ



Graf 8 Výstup převodníku spojitý na nespojité signál

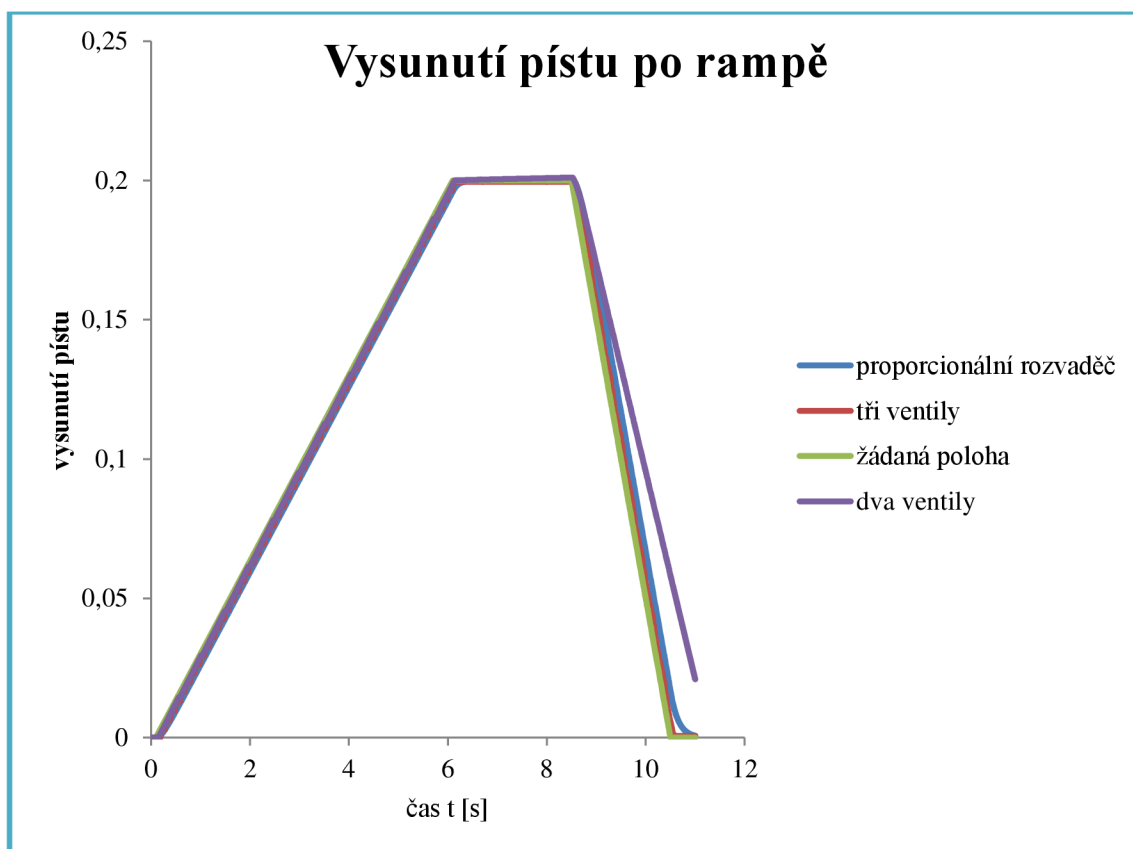
Graf 8 znázorňuje výstup z Převodníku. Na jeho základě je spínána potřebná kombinace ventilů. Průběh grafu je pro graf 9.



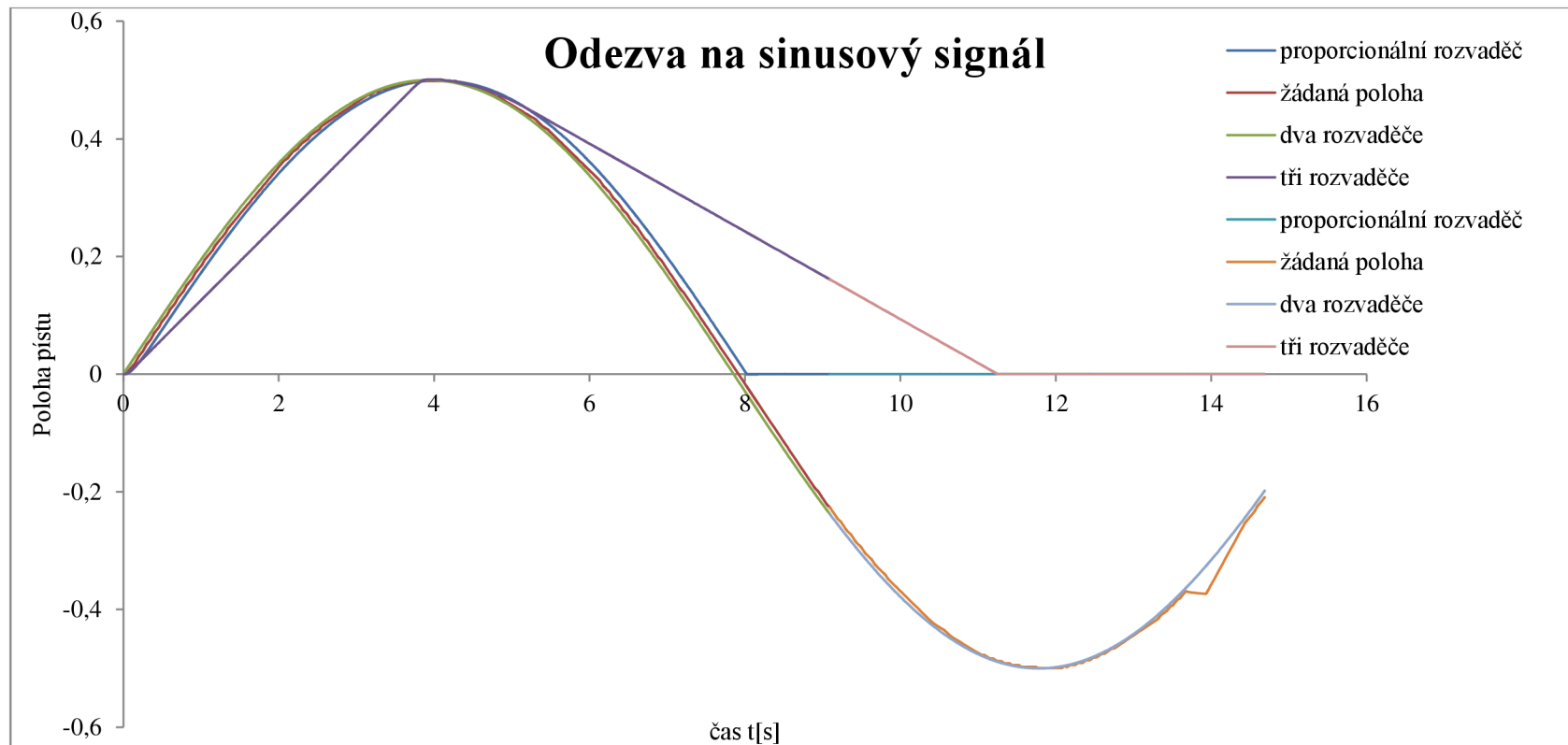
Graf 9 Vysunutí pístu na polohu 1 %

Na grafu 9 vidíme průběh křivek, které udávají kvalitu nastavené regulace PID regulátoru. U dvou rozvaděčového obvodu regulace nedokáže doregulovat píst do požadované

polohy a při přechodu do klidové polohy dojde k rozkmitání. Naopak u tří rozvaděčového obvodu regulace dosáhne požadované polohy.



Graf 10 Vysunutí pístu po rampě



Graf 11 Odezva na sinusový signál

Na grafech 10, 11 vidíme reakci řídicí části obvodu v podobě skokových změn křivek rozvaděčů způsobené jejich připínáním a odepínáním v závislosti na požadavku od regulace.

10 ZÁVĚR

Pro počáteční nastavení hydraulického obvodu jsem využil hodnoty zařízení vodní elektrárny Vír I udávané po rekonstrukci. Podle provedených simulací a užití více nastavení PID regulátoru bylo zjištěno rozdíly mezi jednotlivými variantami hydraulických obvodů. Tři rozvaděčový obvod se vyznačoval lepšími parametry regulace a vyšší variabilitou, od které se odvíjí přesnost polohování a menší citlivost na nastavení PID regulátoru. Naopak je složitější na vhodné rozdělení průtoku. Tuto posledně zmíněnou nevýhodu dvou rozvaděčový obvod nemá.

10.1 Závěrečné shrnutí výhod a nevýhod

Výhody

- a) *dvou rozvaděčového obvodu*
 - jednodušší konstrukce
 - jednodušší hledání chyb nastavení
- b) *tří rozvaděčového obvodu*
 - přesnější polohování a jednodušší nastavení regulátoru
 - větší variabilita průtoků
 - menší nestabilita obvodu díky variabilitě průtoku
 - lépe kopíruje signál žádané polohy jak se můžeme přesvědčit u grafu se žádanou polohou generovanou sinusovým signálem.

Nevýhody

- a) *dvou rozvaděčového obvodu*
 - složitější nastavení PID regulátoru
 - menší variabilita průtoku a tím i omezení rychlosti a přesnosti polohování
 - sklon k větší nestabilitě a kmitání servomotoru
- b) *tří rozvaděčového obvodu*
 - složitější konstrukce
 - jednodušší hledání chyb nastavení

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Odborná literatura

- [1] HOFÍREK, Mojmir. *Mechanika tekutin, hydromechanika a základy aerodynamiky*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: FRAGMENT, 1998. ISBN 80-7200-260-0.
- [2] DVOŘÁK, Lukáš. *Vlastnosti tekutin*. Ostrava, 2010. Sylabus. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [3] BOSH REXROTH. *Základy hydraulických systémů a základní hydraulické komponenty*. Brno, 2005.
- [4] NOSKIEVIC. *Modelování a identifikace systému*. 1.vyd.Ostrava: MONTANEX, a.s., 1999. ISBN 80-7225-030-2
- [5] *Hydrodynamika a hydrodynamické stroje*. Ostrava, 2008. Dostupné z: http://www.338.vsb.cz/PDF/Janalik-HYDRODYNAMIKA_A_HYDRODYNAMICKE_STROJE.pdf. Skripta. VŠ báňská Ostrava. Vedoucí práce Jaroslav Janalík.
- [6] PRUDEK, Stanislav. *Modely silové části regulace vodní elektrárny*. Brno, 2009. Dostupné z: http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2009/DP_Prudek.pdf. Diplomová práce. VUT Brno, fakulta strojního inženýrství, ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Doc. Ing. ZDENĚK NĚMEC Csc.
- [7] Laminární proudění. *Sszdra-karvina.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://sszdra-karvina.cz/bunka/fy/02prou/prlam.htm>
- [8] Turbuletní proudění. *Sszdra-karvina.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://sszdra-karvina.cz/bunka/fy/02prou/prtur.htm>
- [9] BOSCH REXROTH: *Check valve* [online]. 01.02.2009 [cit. 2012-05-26]. Dostupné z: http://www.boschrexroth.com/various/utilities/mediadirectory/index.jsp?publication=NET&language=en-GB&ccat_id=20000&remindCcat=on&pagesize=50&search_action=submit&search_query=21534&History=&DisplayType=pict
- [10] BOSCH REXROTH: *2-way cartridge valves 1/68 Directional functions* [online]. 01.02.2009 [cit. 2012-05-26]. Dostupné z: http://www.boschrexroth.com/various/utilities/mediadirectory/index.jsp?publication=NET&language=en-GB&ccat_id=20000&remindCcat=on&pagesize=50&search_action=submit&search_query=21010&History=&DisplayType=pict
- [11] BOSCH REXROTH: *4/3, 4/2 and 3/2 directional valve 1/16 with wet-pin DC or AC voltage solenoids* [online]. 01.04.2009 [cit. 2012-05-25]. Dostupné z:

http://www.boschrexroth.com/country_units/america/united_states/sub_websites/brus_brh_i/en/products_ss/10_standard_valves/a_downloads/re23178_2009-04.pdf?searchQuery=23178

[12] *Automatizační systémy I.* 2012. Dostupné z: <http://web.spsc.v.cz/~madaj/autsys1.pdf>

[13] NĚMEC, Zdeněk. *Prostředky automatického řízení elektrické.* Brno, 2002. Dostupné z: http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/PAR_el.pdf. Studijní opora. Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství, ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Doc.Ing. Zdeněk Němec, CSc

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 ZNÁZORNĚNÍ PRŮTOKU	17
OBRÁZEK 2 RYCHLOST PŘI PRŮTOKU Q V RŮZNÝCH ŘEZECH	17
OBRÁZEK 3 LAMINÁRNÍ PROUDĚNÍ	18
OBRÁZEK 4 TURBULENTNÍ PROUDĚNÍ	19
OBRÁZEK 5 SCHEMATICKÁ ZNAČKA IDEÁLNÍHO HG V PROGRAMU MATLAB.....	20
OBRÁZEK 6 SCHEMATICKÁ ZNAČKA HYDROGENERÁTORU S PEVNĚ NASTAVENÝM GEOMETRICKÝM OBJEMEM	20
OBRÁZEK 7 SCHEMATICKÁ ZNAČKA OVLÁDACÍHO MAGNETU V MATLABU.....	21
OBRÁZEK 8 SCHEMATICKÁ ZNAČKA ŠOUPÁTKOVÉHO ROZVADĚČE	21
OBRÁZEK 9 2/2 HYDRAULICKÝ ROZVADĚČ (2-CESTNÝ, 2-POLOHOVÝ)	22
OBRÁZEK 10 4/3 ROZVADĚČ (4-CESTNÝ, 3-POLOHOVÝ)	22
OBRÁZEK 11 ŠOUPÁTKOVÝ ROZVADĚČ – 3 KOMOROVÝ	26
OBRÁZEK 12 ŠOUPÁTKOVÝ ROZVADĚČ – 5 KOMOROVÝ	26
OBRÁZEK 13 3/2 ROZVADĚČ OVLÁDANÝ ELEKTRICKY V PROVEDENÍ S KULIČKOU	28
OBRÁZEK 14 3/2 SEDLOVÝ ROZVADĚČ - ELEKTRICKOHYDRAULICKY OVLÁDANÝ	29
OBRÁZEK 15 SCHEMATICKÁ ZNAČKA ŠKRTÍČÍHO VENTILU S OBTOKEM	29
OBRÁZEK 16 SCHEMATICKÁ ZNAČKA CLONY	30
OBRÁZEK 17 SCHEMATICKÁ ZNAČKA ZPĚTNÉHO VENTILU	30
OBRÁZEK 18 ZPĚTNÝ VENTIL	30
OBRÁZEK 19 SERVOVÁLEC S HYDROSTATICKÝM VEDENÍM PÍSTNICE – KUŽELOVÝ PROSTOR	32
OBRÁZEK 20 SERVOVÁLEC S HYDROSTATICKÝM VEDENÍM PÍSTNICE – VÁLCOVÝ PROSTOR	32
OBRÁZEK 21 REGULÁTOR V REGULAČNÍM OBVODU	33
OBRÁZEK 22 ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ P REGULÁTORU	34
OBRÁZEK 23 ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ A CHARAKTERISTIKY I REGULÁTORU	35
OBRÁZEK 24 ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ A CHARAKTERISTIKY D REGULÁTORU	35
OBRÁZEK 25 ZPŮSOB REALIZACE PI REGULÁTORU – PARALELNÍ	36
OBRÁZEK 26 ZPŮSOB REALIZACE PD REGULÁTORU – PARALELNÍ	37
OBRÁZEK 27 ZPŮSOB PROVEDENÍ PID REGULÁTORU – PARALELNÍ	37
OBRÁZEK 28 BLOKOVÉ SCHÉMA SÉRIOPARALELNÍHO PID REGULÁTORU	38
OBRÁZEK 29 BLOKOVÉ SCHÉMA PARALELNÍHO PID REGULÁTORU	39
OBRÁZEK 30 PLC A JEHO JEDNOTLIVÉ ČÁSTI	46
OBRÁZEK 31 PROPOJENÍ PC / SIMATIC	46
OBRÁZEK 32 LAD EDITORU.	47
OBRÁZEK 33 ZÁPISU EDITORU STL.....	48
OBRÁZEK 34 ZÁPIS FBD EDITORU.	49
OBRÁZEK 35 SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘEVODU SPOJITÉHO SIGNÁLU NA NESPOJITÝ SIGNÁL PRO DVA A TŘI ROZVADĚČE	50
OBRÁZEK 36 SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘEVODU SPOJITÉHO SIGNÁLU NA NESPOJITÝ SIGNÁL PRO 2 ROZVADĚČE	51
OBRÁZEK 37 SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘEVODU SPOJITÉHO SIGNÁLU NA NESPOJITÝ SIGNÁL PRO 3 ROZVADĚČE	52

OBRÁZEK 38 ROZHODOVACÍ BLOK.....	55
OBRÁZEK 39 SCHÉMA ZAPOJENÍ ROZHODOVACÍHO BLOKU PRO DVA VENTILY	56
OBRÁZEK 40 SCHÉMA ZAPOJENÍ ROZHODOVACÍHO BLOKU PRO TŘI VENTILY	56
OBRÁZEK 41 LOGICKÁ 1 A 0.....	57
OBRÁZEK 42 POTENCIOMETR 1	57
OBRÁZEK 43 PID REGULÁTOR.....	58
OBRÁZEK 44 DRUHÁ A TŘETÍ KOMBINACE	59
OBRÁZEK 45 OVLÁDÁNÍ MAGNETU	59
OBRÁZEK 46 POVOLENÍ POHYBŮ	60
OBRÁZEK 47 HYDRAULICKÝ OBVOD SE DVĚMA ELEKTROMAGNETICKY OVLÁDANÝMI ROZVADĚČI.....	62
OBRÁZEK 48 HYDRAULICKÝ OBVOD SE TŘEMI ELEKTROMAGNETICKY OVLÁDANÝMI ROZVADĚČI.....	63
OBRÁZEK 49 HYDRAULICKÝ OBVOD S JEDNÍM PROPORCIONÁLNĚ OVLÁDANÝM ROZVADĚČEM	64
OBRÁZEK 50 BLOKOVÉ SCHÉMA OBVODU	66
OBRÁZEK 51 REGULOVANÁ POLOHA SE DVĚMA ROZVADĚČI.....	67
OBRÁZEK 52 REGULOVANÁ POLOHA S TŘEMI ROZVADĚČI	68
OBRÁZEK 53 REGULOVANÁ POLOHA S PROPORCIONÁLNÍM ROZVADĚČEM.....	69
OBRÁZEK 54 OBVOD PRO POROVNÁNÍ REGULACÍ.....	70

Seznam tabulek

TABULKA 1 VISKÓZNÍ TRÍDY	15
TABULKA 2 HYDRAULICKÉ ÚDAJE ŠOUPÁTKA	25
TABULKA 3 HYDRAULICKÉ VÁLCE - POUŽITÉ VELIČINY PŘI VÝPOČTU.....	41
TABULKA 4 ŠOUPÁTKO – POUŽITÉ VELIČINY PŘI VÝPOČTU	42
TABULKA 5 ELEKTRICKÉ ÚDAJE PRO ŠOUPÁTKOVÝ ROZVADĚČ	42
TABULKA 6 CLONA PRO OBVOD S DVĚMA VENTILY	44
TABULKA 7 CLONA PRO OBVOD SE TŘEMI VENTILY	44
TABULKA 8 ZPĚTNÝ VENTIL – POUŽITÉ VELIČINY PRO MODEL	45
TABULKA 9 REDUKČNÍ VENTIL - POUŽITÉ VELIČINY PRO MODEL.....	45

Seznam grafů

GRAF 1 TLAK VS. PRŮTOK	43
GRAF 2 PŘEVOD SPOJITÉHO SIGNÁLU NA NESPOJITÝ SIGNÁL PRO DVA ROZVADĚČE	53
GRAF 3 PŘEVOD SPOJITÉHO SIGNÁLU NA NESPOJITÝ SIGNÁL PRO TŘI ROZVADĚČE	53
GRAF 4 HYSTEREZE S DVĚMA VENTILY	54
GRAF 5 HYSTEREZE SE TŘEMI VENTILY	54
GRAF 6 PRŮBĚH VYSOUVÁNÍ/ZASOUVÁNÍ PÍSTNICE PO RAMPĚ NA POLOHU 20% VYSUNUTÍ.....	71
GRAF 7 PRŮBĚH VYSOUVÁNÍ PÍSTU PRO OBVOD SE DVĚMA A TŘEMI ROZVADĚČI	72
GRAF 8 VÝSTUP PŘEVODNÍKU SPOJITÝ NA NESPOJITÝ SIGNÁL	73
GRAF 9 VYSUNUTÍ PÍSTU NA POLOHU 1 %	73
GRAF 10 VYSUNUTÍ PÍSTU PO RAMPĚ.....	74
GRAF 11 ODEZVA NA SINUSOVÝ SIGNÁL	75

