

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Statická charakteristika proporcionálního přepouštěcího ventilu

Static Characteristic of Proportional Pressure Relief Valve

Student:

Filip Dýrr

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Adam Bureček, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Filip Dýrr**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Statická charakteristika proporcionálního přepouštěcího ventilu**
Static Characteristic of Proportional Pressure Relief Valve
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Literární rešerše k problematice měření statických charakteristik přepouštěcích ventilů.
2. Návrh a realizace experimentálního zařízení pro měření statických charakteristik proporcionálního přepouštěcího ventilu.
3. Experimentální měření statických charakteristik proporcionálního přepouštěcího ventilu.
4. Vyhodnocení statických charakteristik proporcionálního přepouštěcího ventilu.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Kolektiv autorů. *Projektování a konstrukce hydraulických zařízení*. Příručka hydrauliky, Svazek 3, Mannesmann Rexroth GmbH, RCS 00281/10.88, 1988, 1. vydání. 362 s. ISBN 3-8023-02664.
2. PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 2. Řídicí prvky hydrostatických systémů. Příslušenství hydraulických obvodů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, 2. vydání. 140 s. ISBN 978-80-248-1827-6.
3. PIVOŇKA, J. a kol. *Tekutinnové mechanismy*. Praha: SNTL Praha, 1987. 623 s. 04-255-87.
4. DÖRR, H., EWALD, R., et al. *Der Hydraulik Trainer Band 2, Proportional - und Servoventil - Technik*. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth GmbH, 1986. ISBN 3-8023-0898-0.
5. BAROŠKA, J. *Hydrostatické mechanismy*. Žilina: Hydropneutech s.r.o., 2012. 388 s. ISBN 978-80-970-897-2-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Adam Bureček, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě*11.5.2016*.....


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB–TUO“) má právo nevýdělečné ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB–TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 11.5.2016

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Filip Dýrr

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Dobrovského 686/2, Havířov, 736 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

DÝRR, F. *Statická charakteristika proporcionálního přepouštěcího ventilu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2016, 48 s., Vedoucí práce: Bureček, A.

Práce se zabývá stanovením statických charakteristik proporcionálního přepouštěcího ventilu. Je navržen hydraulický obvod pro měření požadovaných veličin potřebných ke stanovení statických charakteristik. Jsou vybrány vhodné snímače pro měření tlaku, průtoku a teploty. Je popsána metodika měření a užití diagnostického měřicího přístroje M 5050. Jsou vyhodnoceny statické charakteristiky proporcionálního přepouštěcího ventilu TS58 – 20 (Hydraforce).

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

DÝRR, F. *Static Characteristic of Proportional Pressure Relief Valve: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamics and hydraulic Equipment, 2016, 48 p., Thesis head: Bureček, A.

This bachelor thesis deals with Static Characteristics of proportional pressure relief valve. The hydraulic circuit for measuring required quantities, which are necessary to determine static characteristic is designed. There are created suitable sensors for measuring pressure, flow and temperature. The method of measuring and using of diagnostic measuring device M 5050 is described. Static characteristics of proportional pressure relief valve TS58 – 20 (Hydraforce) are evaluated.

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Adamu Burečkovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace a podnětné připomínky, které mi byly poskytnuty v průběhu tvorby bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat svým nejbližším za podporu při studiu.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	10
Úvod.....	11
1 Proporcionální řídicí technika.....	12
1.1 Elektromechanické převodníky.....	12
2 Řídicí elektronika pro proporcionální řídicí prvky.....	17
3 Charakteristiky proporcionální řídicí techniky.....	18
3.1 Regulace polohy kotvy.....	20
4 Proporcionální tlakové ventily.....	23
4.1 Přímé řízené proporcionální tlakové ventily.....	23
4.2 Nepřímé řízené proporcionální tlakové ventily.....	24
5 Dvojcestné vestavné ventily.....	25
6 Přepouštěcí ventily.....	27
6.1 Proporcionální přepouštěcí ventil TS58 – 20.....	27
7 Návrh hydraulického obvodu.....	30
7.1 Schéma obvodu.....	30
7.2 Popis jednotlivých prvků měřicího obvodu.....	31
7.2.1 Hydrogenerátor PPAR2 - 63.....	31
7.2.2 Proporcionální přepouštěcí ventil TS58 – 20 (Hydraforce).....	32
7.2.3 Snímač tlaku PR15 (Hydrotechnik).....	34
7.2.4 Zubový průtokoměr GFM70 (Hydrotechnik).....	34
7.2.5 Měřicí přístroj M 5050 (Hydrotechnik).....	35

7.2.6	Elektronika pro řízení proporcionálních ventilů EL6 (Argo Hytos)	36
8	Popis měření a vyhodnocení statických charakteristik	38
8.1	Postup stanovení statické charakteristiky $p_p - Q$	38
8.2	Měření veličin pro stanovení $p_p - Q$ charakteristiky	39
8.3	Postup stanovení hystereze	41
8.4	Měření veličin pro stanovení hystereze	42
9	Závěr	46
10	Seznam použité literatury	48

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název veličiny	Jednotka
f	frekvence	[Hz]
n_{max}	maximální otáčky	[min ⁻¹]
p	tlak	[MPa]
t	čas	[s]
t_o	teplota oleje	[°C]
F_M	elektromagnetická síla	[N]
I	řídící proud	[A]
P	výkon	[W]
Q	průtok	[dm ³ ·min ⁻¹]
U	vstupní napětí	[V]
V_g	geometrický objem	[cm ³]

Úvod

Hydrauliku můžeme označit jako nepostradatelnou součást mnoha mechanismů, které se využívají v oblastech, jako je například strojírenský průmysl, energetika, doprava nebo zemědělství. Její počátky uplatnění v průmyslu můžeme přiřadit k začátku 20. století. Zbrojení při 2. světové válce nastartovalo spojení hydraulických mechanismů s elektrickými řídicími prvky pomocí servotechniky. Toto spojení přinášelo dokonalejší řízení zbraňových systémů ať už na lodích, v letadlech, či bojových vozidlech [1]. Elektricky řízené hydraulické systémy se velice osvědčily díky větší citlivosti a přesnosti řízení a začaly pronikat do oblastí, kde byla potřeba dokonalejšího řízení, než jakého je u systémů bez elektrických řídicích prvků. Problémem však byla vysoká cena a náročnost na čistotu kapaliny. Proto se začaly vyvíjet řídicí prvky, které jsou kompromisem mezi klasickou řídicí technikou a servotechnikou, a to jsou proporcionální řídicí prvky. Prvky proporcionální řídicí techniky nepožadují zvýšenou čistotu kapaliny jako servotechnika a jsou cenově dostupnější [2].

Tématem této bakalářské práce jsou statické charakteristiky proporcionálního přepouštěcího ventilu, což je jedna z možností, jak řídit hydraulické systémy. Tyto tlakové ventily ovládané elektronikou nám zaručují citlivější a přesnější řízení systému, než systémy s konvenční řídicí technikou, což často bývá rozhodujícím parametrem při volbě řídicí techniky.

Cílem bakalářské práce je vypracovat řešení na téma proporcionální tlakové ventily, dále navrhnout vhodný hydraulický obvod pro měření statických charakteristik proporcionálního přepouštěcího ventilu i s měřicími prvky, jako jsou snímače a samotný měřicí přístroj. Poté je úkolem stanovit a vyhodnotit statické charakteristiky proporcionálního přepouštěcího ventilu.

1 Proporcionální řídicí technika

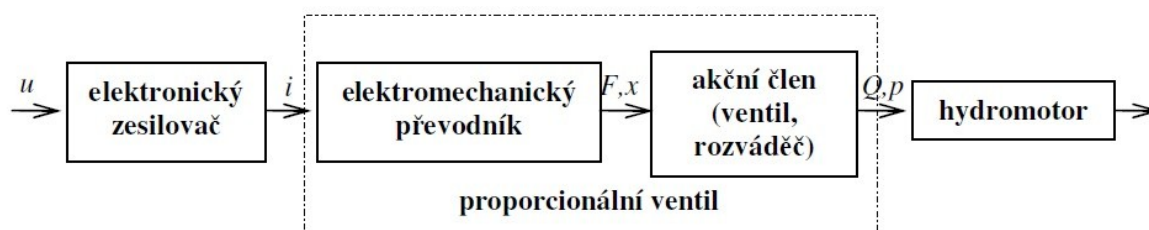
Elektrohydraulické systémy tvoří komponenty jak hydraulické, tak elektrické, které dohromady vytváří mechanismy využívající přednosti, které vznikají spojením těchto prvků. Elektrická část prvků v těchto systémech má za úkol plnit funkci řídicí, zatímco hydraulická část prvků koná samotnou mechaniku daných prvků. „Podstata těchto systému spočívá v tom, že řídicí část je řešená jako elektrická a silovou část tvoří hydraulické prvky. Kombinace elektriky s hydraulikou představuje výhodné spojení, jelikož využívá možnosti, jak poměrně lehce realizovat i nejsložitější elektronické řídicí obvody, tak i výborné dynamické a silové vlastnosti hydraulických prvků.“ [1].

V hydraulických systémech je řídicí technika realizována buď jako klasická řídicí technika, dále jako proporcionální řídicí technika nebo jako servotechnika. Elektrohydraulický systém s proporcionálními řídicími prvky využívá na řízení hydraulických veličin elektrický signál. Tento signál se může ovládat přes připojenou elektronickou řídicí kartu, nebo externě z počítače. Požadované hodnoty pro tlak, průtok a jeho směr jsou zadávané analogovým elektrickým signálem. Proporcionální technika je dnes velmi využívanou skupinou v oblasti řídicí techniky, jelikož má celkově lepší vlastnosti než klasická řídicí technika a nemá nikterak zvýšené požadavky na čistotu kapaliny nebo na provoz a údržbu. V průmyslu je aplikovaná tam, kde vlastnosti klasické řídicí techniky nestačí [2]. Její použití je také výhodné proto, že je cenově dostupná, což je mnohdy jeden z hlavních parametrů při volbě řídicí techniky. Proporcionální řídicí technika pracuje s prvky, jako jsou proporcionální rozváděče, proporcionální tlakové ventily nebo proporcionální škrťací ventily. Vyznačují se spojitým řízením tlaku a průtoku elektrickým signálem malého výkonu [1].

1.1 Elektromechanické převodníky

Jak je již zmíněno, proporcionální techniku utváří řídicí elektronika a samotné výkonové členy, které jsou z mnoha pohledů totožné jako akční členy klasické řídicí techniky. Pro oslovení co největšího množství odběratelů se výrobci snaží vytvářet proporcionální techniku s akčními členy, které mají stejné připojovací rozměry pro stejnou světlost prvku, jako jsou výkonové, tedy akční členy klasické řídicí techniky. Odlišnost nastává tedy až v použití elektromechanického převodníku, který má elektronický zesilovač buď přímo

integrován, nebo je proveden jako samostatný díl, což je například zmiňovaná elektronická karta [2].



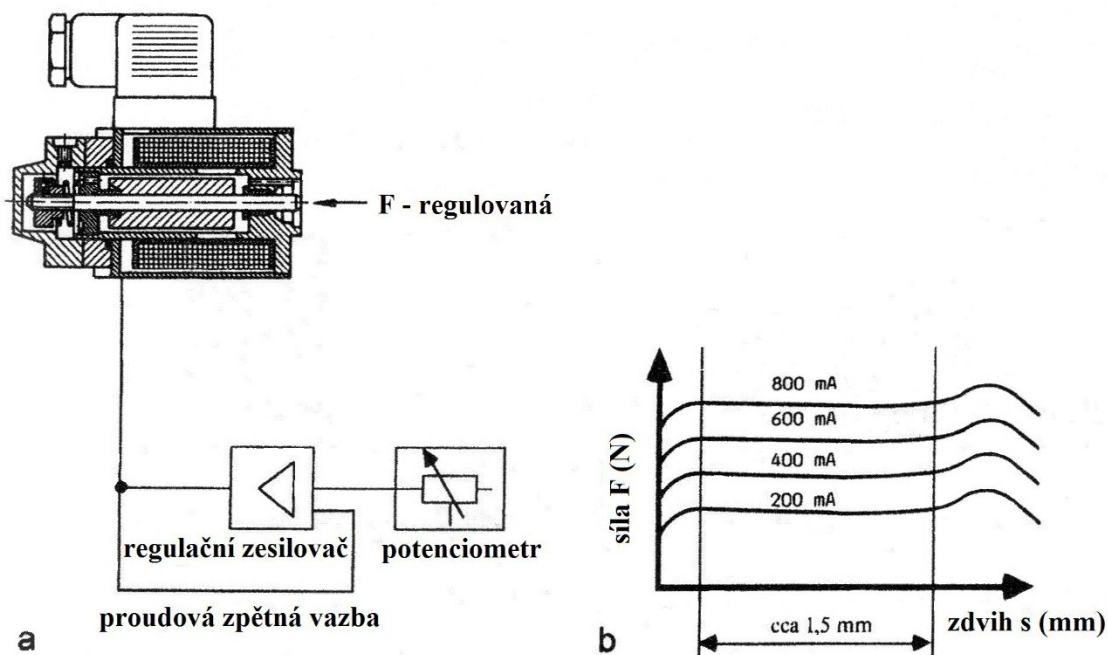
Obr. 1.1 Struktura proporcionálních prvků [2]

Na obrázku 1.1 je znázorněno schéma změny vstupního elektrického signálu na výstupní hydraulický signál u proporcionální řídicí techniky.

Jestliže má daný prvek správně fungovat, musí obsahovat spojovací článek, který převede vstupní signál od řídicí elektroniky k mechanice prvku, a to je daný elektromechanický převodník. V současnosti se můžeme v praxi setkat u proporcionálních řídicích prvků s nejrůznějšími elektromechanickými převodníky, které jsou založeny na rozdílných fyzikálních vlastnostech, což je jeden z rozdílů oproti běžným řídicím prvkům, které používají jediný typ elektromechanického převodníku, a to elektromagnet. Jedná se například o proporcionální elektromagnety nebo elektrodynamické převodníky, dále zde patří také lineární, krokové a momentové motory [2].

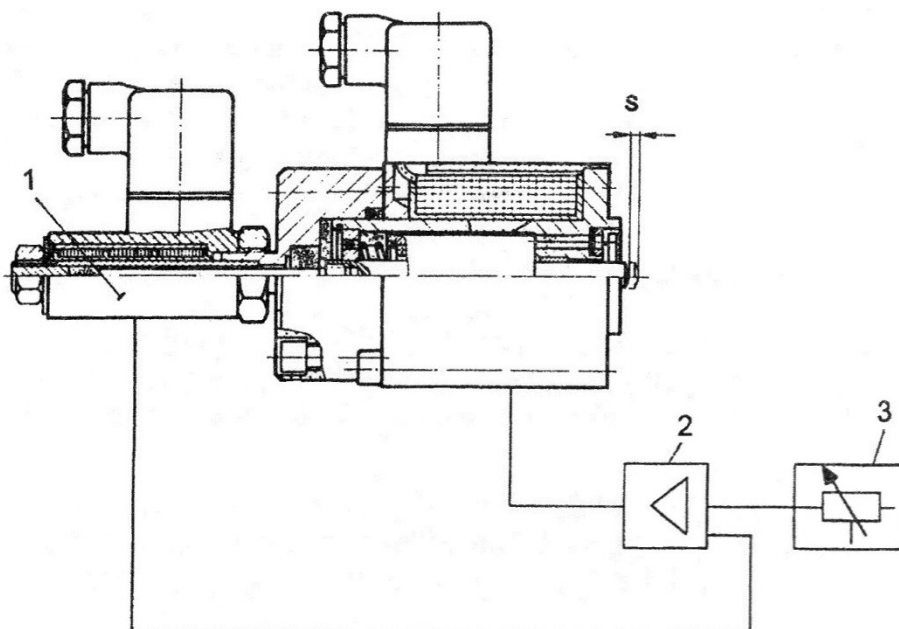
Proporcionální elektromagnety

Jednu ze skupin tvoří proporcionální elektromagnety. Proporcionální elektromagnety se dále dělí, a to buď na silové, nebo zdvihové elektromagnety. U prvně zmíněných je konstrukce provedena tak, aby elektromagnety vytvořily na kotvě sílu, viz obr. 1.2. Na obrázku 1.3 je proporcionální zdvihový elektromagnet. U zdvihových elektromagnetů je konstrukce provedena tak, aby elektromagnety vyvodily na kotvě dráhu. Elektromagnety jsou napájené stejnosměrným proudem. Síla a dráha, která je vyvozena elektromagnety na kotvě, je úměrná elektrickému proudu, který protéká cívkou. „*Proporcionální elektromagnety jsou speciální elektromagnety napájené stejnosměrným proudem, které díky své konstrukci vyvozují na kotvě buď sílu (silové elektromagnety) nebo dráhu (zdvihové elektromagnety) úměrnou elektrickému proudu tekoucímu cívkou*“ [2]. Silový elektromagnet je schopen vyvíjet sílu úměrnou elektrickému proudu jen v určitém rozsahu zdvihu, přibližně okolo 1,5 mm. Tento elektromagnet je značen jako tlačný, jelikož se kotva ze základní polohy posouvá a tlakem vyvinutým posunem kotvy působí na připojenou mechanickou součást.



Obr. 1.2 Silový elektromagnet, a – provedení elektromagnetu a schéma zapojení, b - závislost síly na elektrickém signálu [2]

U zdvihového elektromagnetu je vyvíjen zdvih přímo úměrný elektrickému proudu. Dosažená poloha je ovlivňována proti působící síle. Její přesnost lze zajistit regulací. „Zdvih kotvy bývá obvykle 3 až 5 mm. Proti působící síle ovlivňuje přesnost dosažené polohy. Zpřesnění lze dosáhnout použitím polohové zpětné vazby“ [2].

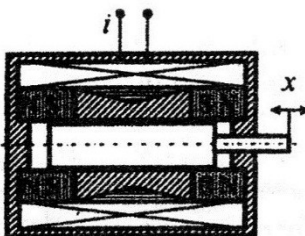


Obr. 1.3 Zdvihový elektromagnet, 1 – snímač polohy, 2 – elektronický regulátor a zesilovač, 3 – potenciometr [2]

U proporčních řídicích prvků se používají kapaliny nevodivé. Díky tomu není vnitřní prostor elektromagnetu a snímače polohy těsněn proti vniknutí kapaliny z kanálu T. Jedná se o takzvané „mokrý provedení“. To vše je provedeno kvůli minimalizaci třecích odporů [2].

Lineární motory

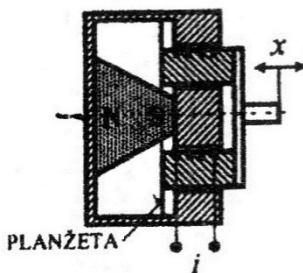
Další skupinou elektromechanických převodníků používaných u proporční řídicí techniky jsou lineární motory. Tento motor se skládá z permanentních magnetů uložených tak, aby se kotva nacházela v základní poloze uprostřed zdvihu, viz obr. 1.4. Jestliže protéká cívkou elektrický proud, kotva se vychýlí podle polarity proudu v jednom nebo druhém směru. Zdvih kotvy se pohybuje okolo 0,7 až 2 mm, maximální vyvozená síla do ± 300 N. Tím, že mají magnety lineárního motoru kratší zdvih a větší sílu, dokážou být rychlejší než proporční elektromagnet [2].



Obr. 1.4 Lineární motor [2]

Elektrodynamické převodníky

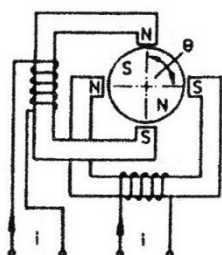
Mezi další používané elektromechanické převodníky patří převodníky elektrodynamické. Jedna z konstrukcí je vidět na obrázku 1.5. Jejich principem je práce cívky pohybující se v magnetickém poli permanentních magnetů. Základní poloha cívky je zajištěna pružinou. Vychýlení cívky je způsobeno průtokem elektrického proudu cívkou, která se vychyluje úměrně velikosti a směru elektrického proudu. Zdvih kotvy se pohybuje okolo 2,4 mm. Doba přestavení kotvy, která reaguje na skokový signál, se pohybuje okolo 3,5 ms. Tyto parametry jsou vlastní servoventilům [2].



Obr. 1.5 Elektrodynamický převodník [2]

Krokové motory

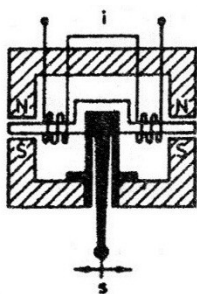
Elektromechanický převodník, který se používá u proporcionálních prvků jen výjimečně, je krokový motor. Důvodem způsobujícím nízkou rozšířenost je potřeba převodu rotačního pohybu rotoru motoru na přímočarý pohyb šoupátka, viz obr. 1.6. Vysoká přesnost a opakovatelnost polohování je způsobena impulzním řízením. Využitím tzv. „mikrokrokování“ se zvyšuje přesnost a plynulost pohybu, na druhou stranu se ale snižuje rychlost, což je problém. Proto zatím nemůže plnohodnotně konkurovat rychlým elektromechanickým převodníkům, jako jsou proporcionální elektromagnety a další jmenovaní zástupci [2].



Obr. 1.6 Krokový motor [2]

Momentové motory

Nejrychlejší elektromechanické převodníky, které se používají, jsou takzvané momentové motory, viz obr. 1.7. Tyto elektromechanické převodníky dosahují vlastní frekvence okolo $f = 100$ až 500 Hz. Konstrukce je tvořena z feromagnetické kotvy, která po přivedení elektrického proudu na cívky plní funkci elektromagnetu. Póly kotvy jsou přitahovány k pólovým nástavcům permanentního magnetu, čímž se vychýlí kotva a vznikne moment.



Obr. 1.7 Momentový motor [2]

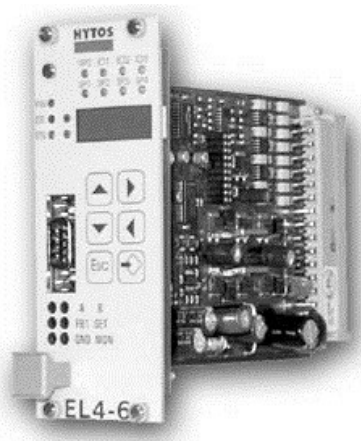
2 Řídicí elektronika pro proporcionální řídicí prvky

Řídicí elektronika se skládá ze dvou základních částí, a to z elektrického zesilovače, v kterém se vstupní signál upraví a zesílí a ze zařízení, kterým se zadává žádaná hodnota. Slabý napěťový signál je pomocí elektrického zesilovače převeden na výkonový (proudový) signál, který se vede na cívky proporcionálních elektromagnetů [2]. U proporcionálně řízených prvků se používají elektrické zesilovače, které vyhovují požadavkům daného systému. Vyrábějí se v několika variantách. Nejjednodušší z nich je aktivní konektor, viz obr. 2.1. Jedná se o jednoduchý zesilovač bez regulace polohy, který je přímo namontovaný do konektoru magnetu. Toto provedení se používá hlavně v mobilních strojích [1].



Obr. 2.1 Aktivní konektor [1]

Dalšími zesilovači u proporcionálně řízené techniky jsou řídicí karty, viz obr. 2.2. Jedná se o řídicí elektroniku, která má formu normalizovaných karet evropského formátu, osazených elektronickými prvky [1].

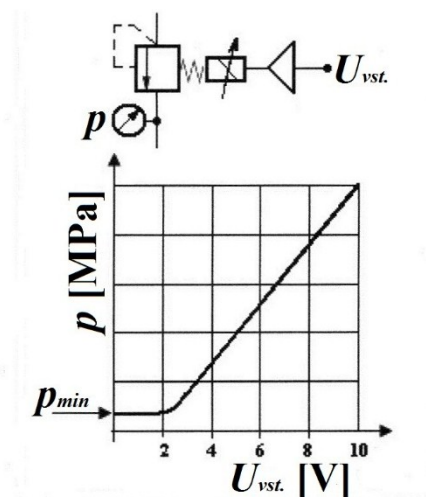


Obr. 2.2 Řídicí karta [9]

Elektrické zesilovače se vyrábí i v ochranném vodotěsném pouzdře. Pouzdro zajišťuje ochranu proti nárazům a vibracím, a proto se nejčastěji používá v mobilní technice, kde se musí s těmito nežádoucími vlivy počítat [1].

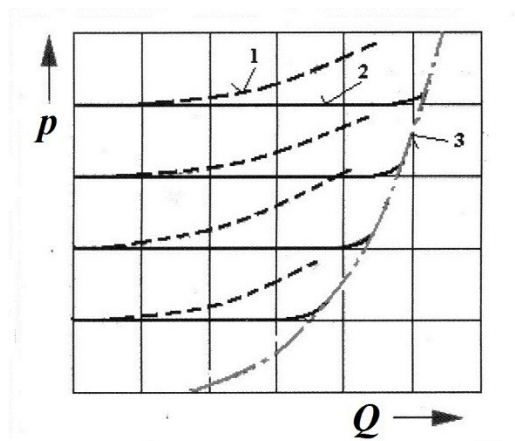
3 Charakteristiky proporcionální řídicí techniky

Charakteristiky nám udávají závislost mezi vstupním elektrickým signálem a hydraulickým výstupním signálem v podobě tlaku nebo průtoku, viz obr. 3.1. Ideální by bylo, kdyby tato závislost byla přesně lineární, tvořena přímkou. Ve skutečnosti jsou charakteristiky většinou trochu zakřivené, proto se využívá jen menší rozsah signálu. Vstupní signál se vždy vztahuje ke vstupu do elektrického zesilovače [1]



Obr. 3.1 Závislost tlaku p na vstupním elektrickém signálu U na proporcionálním tlakovém ventilu [1]

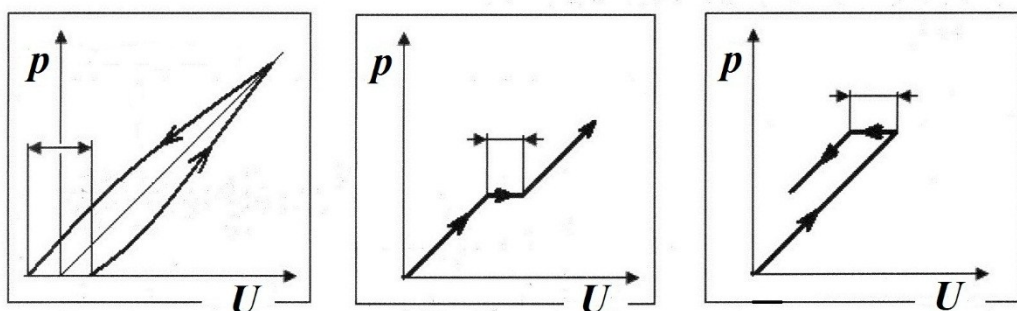
Charakteristikou pro proporcionální ventily je $p - Q$ charakteristika. Tuto statickou charakteristiku tvoří křivka tlaku p závislého na průtoku Q . U tlakových ventilů pro omezení tlaku by měl být tlak co nejméně závislý na průtoku. Nejideálnější by bylo, kdyby zůstal konstantní pro celý rozsah průtoků. Tento stav je vyjádřený vodorovným průběhem charakteristiky v grafu na obrázku 3.2. Odpor proti průtoku narůstá se zvyšujícím se průtokem. Tento odpor se připočte k nastavenému tlaku. To se projeví na vzestupu křivky, což znamená, že se ventil dostává do oblasti „nasycení“. Po překročení této hranice by ventil neměl být používán. Průběh charakteristiky nepřímo řízených tlakových ventilů je plošší než u přímo řízených [1].



Obr. 3.2 Charakteristika $p - Q$ pro tlakové ventily, 1 – průběh otevíracího tlaku u přímo řízeného, 2 – průběh otevíracího tlaku u nepřímo řízeného, 3 – křivka „nasyčení“ [1]

Vlastnosti proporcionálních řídicích prvků jsou vyjádřeny několika dalšími parametry. Jeden z nich je přestavovací čas. Tento parametr nám představuje dynamické vlastnosti a je definován jako odezva na skokový signál na vstupu na přeběhnutou dráhu kotvy v magnetu, eventuálně zdvih posouvače v řídicím prvku [1]. Další parametry, které mezi sebou úzce souvisí, jsou hystereze, citlivost a citlivost při změně polarity, které jsou na obrázku 3.3. Všechny tyto vlastnosti se odvíjí od elektromechanického převodníku, od mechanického tření, od vůlí v přenosových prvcích a především, jestli má proporcionální elektromagnet snímač polohy kotvy. Se zpětnou vazbou na polohu kotvy se hystereze pohybuje do 1 %, zatímco bez regulace to je přibližně 5 %. Vlastnost, která je důležitá z důvodu automatizace daného prvku, se nazývá opakovatelnost. Opakovatelnost je rozdíl v průtoku při totožných podmínkách, který je způsoben proměnnými pasivními odpory, nečistotami a hydrodynamickými silami. Hystereze a opakovatelnost udávají celkovou chybu [7].

Hystereze je největší rozdíl vstupních signálů pro stejný výstupní signál při přecházení celou oblastí signálů, tedy v obou směrech. Citlivost je potřebná změna vstupního signálu pro zaznamenání měřitelné změny výstupního signálu v nastaveném bodě, jestliže změna probíhá ve stejném směru. Citlivost při změně polarity je potřebná změna vstupního signálu pro zaznamenání měřitelné změny výstupního signálu v nastaveném bodě, jestliže změna probíhá v opačném směru [1]



Obr. 3.3 Vlevo – hystereze, uprostřed – citlivost, vpravo – citlivost při změně polarity [1]

V tabulce 3.1 můžeme porovnat základní parametry řídicích prvků. Hystereze je největší u mobilních rozváděčů s elektrickým dálkovým ovládáním společně s proporcionálními řídicími prvky bez regulace polohy. Další místo zabírají proporcionální řídicí prvky s elektrickou regulací polohy. Do skupiny s nejmenší hysterezí patří regulační ventily s elektrickou regulací polohy a servoventily. Mezní frekvence se pohybují od $f=10$ Hz u mobilních rozváděčů s elektrickým dálkovým ovládáním až po $f=200$ Hz u servoventilů. Nulovým překrytím se vyznačují regulační ventily s elektrickou regulací polohy a servoventily. Pro ostatní skupiny se překrytí při střední poloze pohybuje od ± 5 až 20 %. Pro tyto skupiny je typický otevřený řídicí obvod. Uzavřený řídicí obvod patří k regulačním ventilům s elektrickou regulací polohy a servoventilům.

Tab. 3.1 Tabulka základních parametrů pro výběr vhodného řídicího prvku [1]

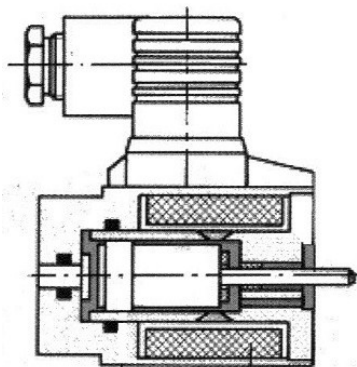
	Řídicí prvky se spojitým přestavováním				
	Mobilní rozváděče s elektr. dálkovým ovládáním	Proporcionální řídicí prvky		Regulační ventily s elektrickou regulací polohy	Servoventily
		bez regulace polohy	s elektrickou regulací polohy		
Hystereze	3...7 %	3...7 %	0,3...1 %	0,2...0,5 %	0,1...0,5 %
Mezní frekvence	10 Hz	10...50 Hz	10...70 Hz	50...150 Hz	100...200 Hz
Překrytí ve střední poloze	$\pm 5...20$ %			nulové překrytí	
Aplikace	otevřený řídicí obvod (ovládání)			uzavřený řídicí obvod (regul.)	

3.1 Regulace polohy kotvy

Proporcionální řídicí prvky se vyrábí ve dvou zásadně rozdílných provedeních, a to buď bez regulace polohy, nebo s regulací polohy.

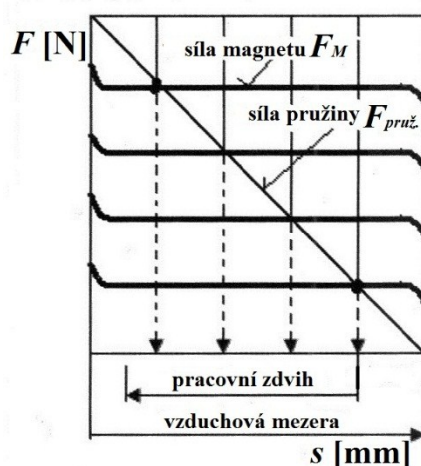
Řídicí prvky bez regulace polohy

Na obrázku. 3.4 je řídicí prvek bez regulace polohy. Spojovací článek mezi elektrickou a hydraulickou částí zastupuje proporcionální elektromagnet. Tímto elektromechanickým převodníkem se přestavují všechny proporcionálně řízené části prvku. Proporcionální elektromagnet se podobá elektromagnetu s jednosměrným proudem pro spínací hydraulické prvky.



Obr. 3.4 Proporcionální řídicí prvek bez regulace polohy [1]

Je zde ale několik charakteristik, které tyto elektromagnety rozlišují. Rozdíl odlišující proporcionální elektromagnet od spínacího elektromagnetu způsobuje, že po dobu probíhajícího zdvihu elektromagnetická síla F_M zůstává stejná minimálně v celém rozsahu pracovního zdvihu, viz obr. 3.5. Tento průběh síly se dosáhne tvarováním vzduchové mezery, případně vedením magnetického toku feritovým dílcem. Změna elektromagnetické síly nastane při změně velikosti přivedeného elektrického proudu na elektromagnet. Mezi oběma veličinami existuje relativně přísná linearita [1].

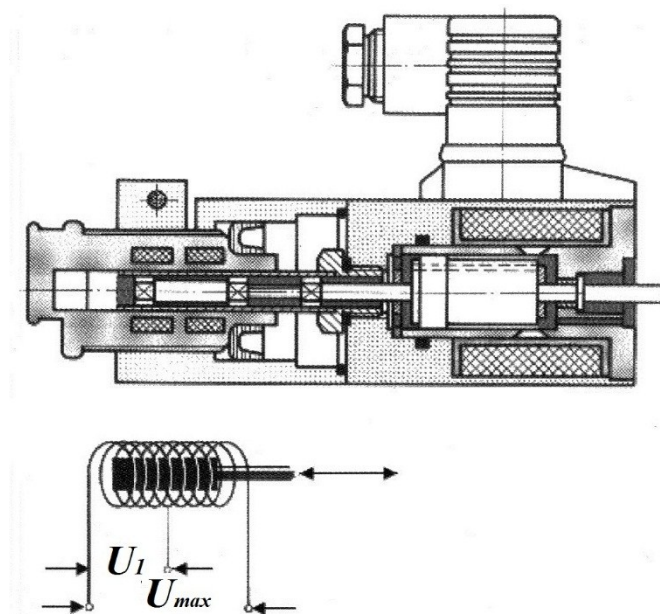


Obr. 3.5 Proměnlivá elektromagnetická síla porovnávána se silou pružiny [1]

Řídicí prvky s regulací polohy

Druhá skupina proporcionálních řídicích prvků se tedy vyrábí i s regulací polohy, která nám zajistí potřebnou rovnováhu mezi silami magnetu a pružiny, která je nutností pro dosažení požadované polohy magnetu. Tato rovnováha je ale narušována. Při změně proudu je potřebné překonat třecí síly dříve, než kotva změní svoji polohu. Dále má rušivý vliv na polohu kotvy magnetická hystereze. Pro zvýšení přesnosti přestavování a odstranění vlivu od vstupujících poruch je účelné snímat polohu kotvy magnetu a skutečnou naměřenou hodnotu a přivést je jako zpětnovazební signál do regulačního obvodu na regulaci polohy kotvy. To umožní nepřetržitě korigovat vznikající odchylky. Zvláště pozitivně to ovlivní citlivost řídicích prvků na nečistoty. Nejmenší regulační odchylky jako jsou třeba přilepení posouvače budou zaregistrované a korigované silou od elektromagnetu [1].

Na obrázku 3.6 je jedno z konstrukčních provedení proporcionálního elektromagnetu se snímačem polohy. Prvek obsahuje bezkontaktní snímač, který pracuje na principu indukčního děliče napětí. Je složen z cívky se snímáním napětí ze středu, do které se vsouvá pohyblivé jádro feritu. Montuje se v ose kotvy magnetu. Na oba konce cívky je přivedeno vysokofrekvenční střídavé napětí. Snímaná hodnota napětí je závislá od polohy feritového jádra v cívce, která udává polohu kotvy. Tato hodnota napětí se v zesilovači porovnává se vstupním signálem [1].



Obr. 3.6 Proporcionální řídicí prvek s regulací polohy [1]

4 Proporcionální tlakové ventily

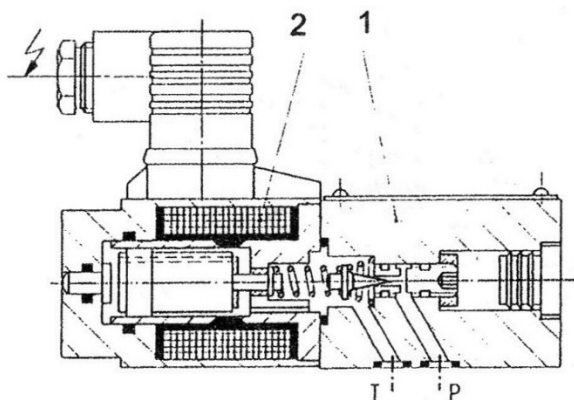
Funkcí proporcionálních tlakových ventilů je spojitě elektrické řízení tlaku a průtoku kapaliny v hydraulickém obvodu pomocí elektroniky, a to buď prostřednictvím elektronické řídicí karty, nebo programu v řídicím počítači [2].

Proporcionální ventily mají podobné vlastnosti jako proporcionální rozváděče. Ventily mají ne zcela lineární statickou $I - p$ charakteristiku a nepříliš rychlou reakci. Celková chyba složená z opakovatelnosti a hystereze se pohybuje u ventilů bez zpětné vazby okolo $\pm 9 \%$ celkového rozsahu a u ventilů se zpětnou vazbou má celková chyba hodnotu 1 až 1,5 % celkového rozsahu [2].

Proporcionální tlakové ventily se dále rozdělují na přímo a nepřímo řízené. Přímé řízené se používají do průtoku přibližně $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Pro větší průtoky je potřeba použít nepřímo řízené proporcionální tlakové ventily [1].

4.1 Přímé řízené proporcionální tlakové ventily

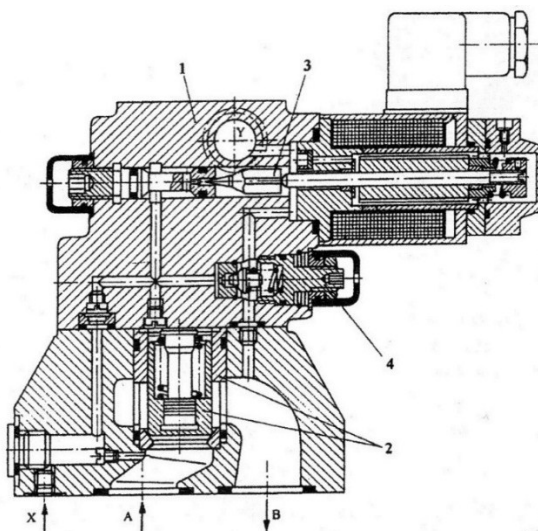
Elektromechanickým převodníkem u proporcionálního přímo řízeného pojistného ventilu je proporcionální zdvihový elektromagnet. Elektromagnet ventilu stlačuje pružinu, která vyvíjí přítlačnou sílu na kuželku a tak nastaví požadovaný tlak. Na obr. 4.1 je řez proporcionálním přímo řízeným pojistným ventilem (Bosch).



Obr. 4.1 Proporcionální přímo řízený pojistný ventil (Bosch), 1 – těleso s kuželkou a pružinou, 2 – proporcionální zdvihový elektromagnet [2]

4.2 Nepřímo řízené proporcionální tlakové ventily

Nepřímo řízený proporcionální tlakový ventil tvoří přímo řízený ventil malé světlosti na 1. stupni a tlakově vyvážená kuželka s pouzdrem na 2. stupni. U nepřímo řízených ventilů se používá proporcionální silový elektromagnet. Jedno z provedení je na obrázku 4.2, kde vidíme proporcionální nepřímo řízený pojistný ventil (Rexroth). „*Proporcionální silový elektromagnet přitlačuje kuželku na 1. stupni do sedla přímo (bez pružiny) a tím nastavuje pojistný tlak*“ [2]. Dalším provedením může být nepřímo řízený proporcionální tlakový ventil, kde výkonný stupeň tvoří dvojcestný vestavný ventil, viz kap. 5.

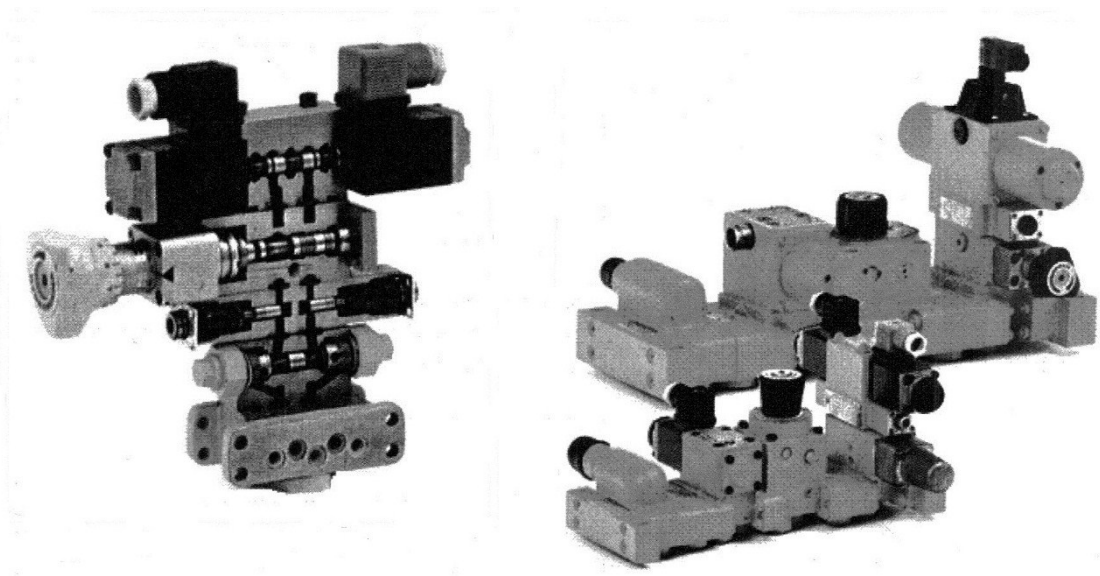


Obr. 4.2 Proporcionální nepřímo řízený pojistný ventil (Rexroth), 1 – první stupeň, 2 - kuželka druhého stupně s pouzdrem, 3 – kuželka 1. stupně [2]

5 Dvojcestné vestavné ventily

Vestavné ventily jsou moderní prvky pro hrazení průtoku kapaliny. Najdeme je také pod názvem logický prvek [7]. Původně bylo hydraulické zařízení tvořeno hydraulickými prvky, které byly navzájem propojené trubkami. Se zvyšováním požadavků na kompaktnost systému se dnes hydraulické prvky sdružují do výškového nebo podélného celku a vytváří blok, který je na obrázku 5.1. Do bloku se upevňují také řídicí prvky, jako jsou rozváděče a ventily, které jsou připevněné přírubovým spojem a jejich vzájemné propojení je realizované vyvrtanými dírami v bloku. [1].

Konstrukce prvků v obvodu do bloku přináší mnoho výhod. Díky této konstrukci dokáže systém přenášet velké výkony, které se jen těžko realizují pomocí konvenčních prvků ze sériové výroby. Mezi další výhody patří nižší hlučnost, vyšší účinnost, menší počet prvků a snížení nákladů. „Kompletní funkce, které zabezpečovaly klasické rozváděče a ventily, byly nahrazené relativně malým počtem základních prvků (dvojcestnými vestavnými ventily přes které je přenášený výkon) a sériově vyráběnými řídicími prvky malých světlostí“ [1].

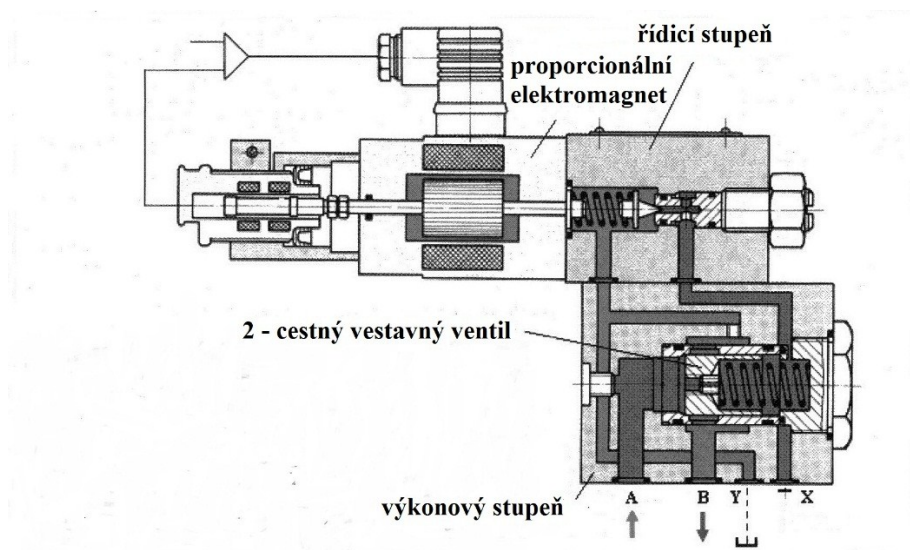


Obr. 5.1 Vlevo – výškové sdružování prvků, vpravo – podélné sdružování prvků [1]

Dvojcestné vestavné ventily se dají realizovat také jako ventily pro omezení tlaku. Dvojcestné vestavné ventily se vyrábí s poměrem ploch 1:1 a kombinují se s řídicím tlakovým ventilem pro omezení tlaku, a to i ve variantě proporcionálního tlakového ventilu [1].

Na obrázku 5.2 je zobrazen řez nepřímo řízeným proporcionálním tlakovým ventilem pro omezení tlaku s regulací polohy. Zde tvoří výkonový stupeň dvojcestný vestavný ventil a řídicí ventil je přímo řízený proporcionální tlakový ventil se snímáním polohy kotvy.

Tato konstrukce umožňuje, že řídicí ventil může být umístěn odděleně a dá se ho využít pro velké průtoky. Místo nepřímo řízeného ventilu se také používá přímo řízený vestavný ventil [1].



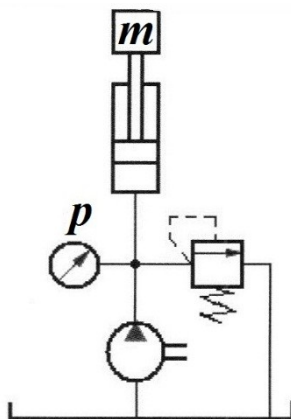
Obr. 5.2 Nepřímo řízený proporcionální tlakový ventil pro omezení tlaku s regulací polohy [1]

Výhody:

- rozměrové a hmotnostní úspory
- ekonomické úspory
- jednoduchá konstrukce a vysoká sériovost výroby
- dokonalá těsnost
- snížení počtu prvků v obvodu

6 Přepouštěcí ventily

Přepouštěcí ventily patří k řídicím prvkům, které pracují na principu spojitého řízení tlaku a průtoku stejně jako pojistné ventily. Na rozdíl od pojistných ventilů, které pracují jen relativně krátkou dobu, přepouštěcí ventily slouží k dlouhodobému přepouštění kapaliny při nastaveném tlaku. Proto nejsou na přepouštěcí ventily kladeny velké požadavky, co týče rychlosti reakce. Po přepouštěcích ventilech se požaduje vyšší zatlumení kvůli stabilizování průtoku ventilem [2]. Další vlastností je malý vnitřní odpor, vysoká tlaková citlivost a rychlá reakce na změny průtoku, které vyvolávají difference nastaveného tlaku [3]. Zařazují se paralelně k hydrogenerátoru a tlak v obvodu řídí odpouštěním přebytečného průtoku z hydrogenerátoru zpět do nádrže, viz obr. 6.1. Během činnosti obvodu jsou otevřené [1].

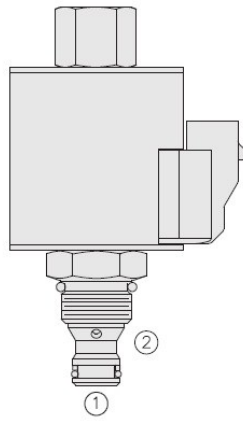


Obr. 6.1 Zapojení přepouštěcího ventilu k hydrogenerátoru [1]

Dnes je na trhu mnoho variant přepouštěcích ventilů, ať už to jsou ventily přímo nebo nepřímě řízené s klasickou řídicí technikou nebo technikou proporcionální v kombinaci s vestavnými ventily, které vykonávají funkci výkonového stupně, viz kap. 5.

6.1 Proporcionální přepouštěcí ventil TS58 – 20

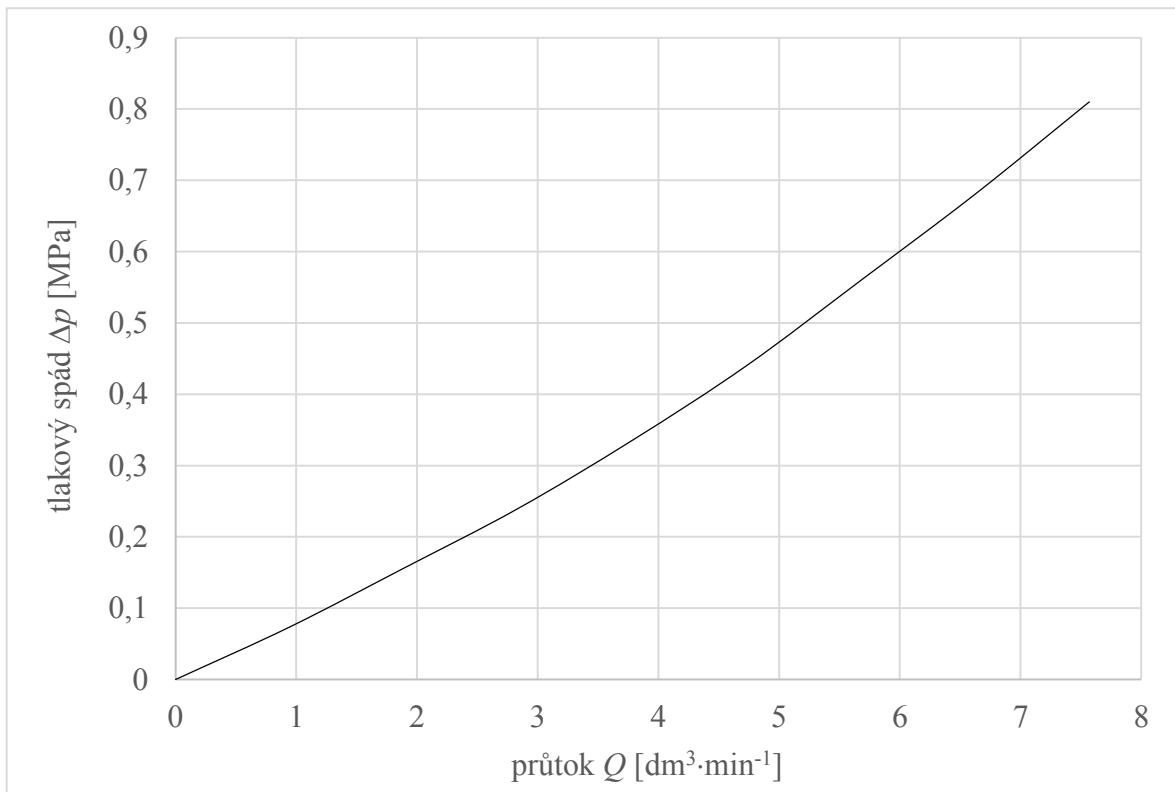
Ventil TS58 – 20 je jeden z mnoha nabízených proporcionálních přepouštěcích vestavných ventilů, které jsou na trhu. Ventil je dvoucestný, přímo řízený vstupním stejnosměrným proudem, viz obr. 6.2. Ventil je určen pro plynulou regulaci tlaku v obvodu a ochraně hydraulického obvodu. V základní poloze jsou kanály P a T volně propojeny do nádrže. S nárůstem budicího proudu na cívice dochází k nárůstu síly elektromagnetu. Velikost síly proporcionálního elektromagnetu je přímo úměrná velikosti předpětí pružiny [6].



Obr. 6.2 Proporcionální přepouštěcí ventil TS58 – 20 [6]

Charakteristiky ventilu

Katalog výrobce uvádí k tomuto ventilu 3 charakteristiky. Na obrázku 6.3 je závislost tlakového spádu Δp na zvyšujícím se průtoku Q při nulovém vstupním signálu.

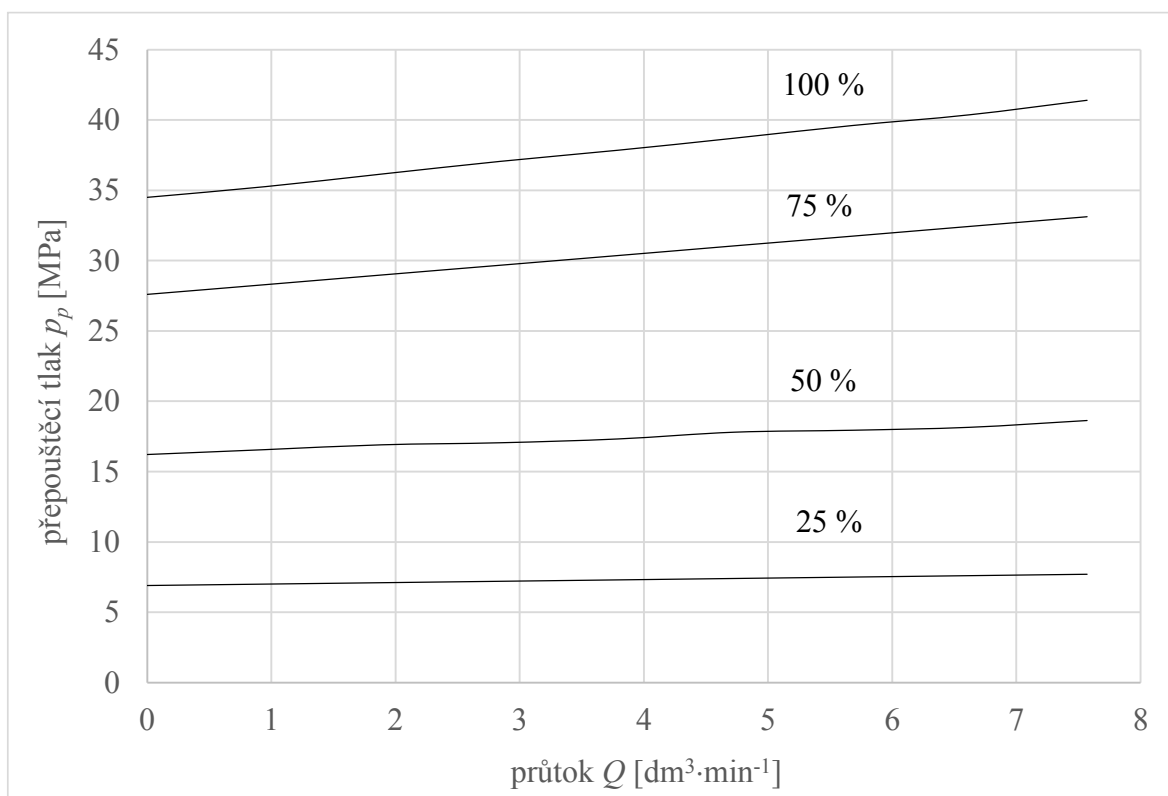


Obr. 6.3 graf závislosti tlakového spádu Δp na průtoku Q [6]

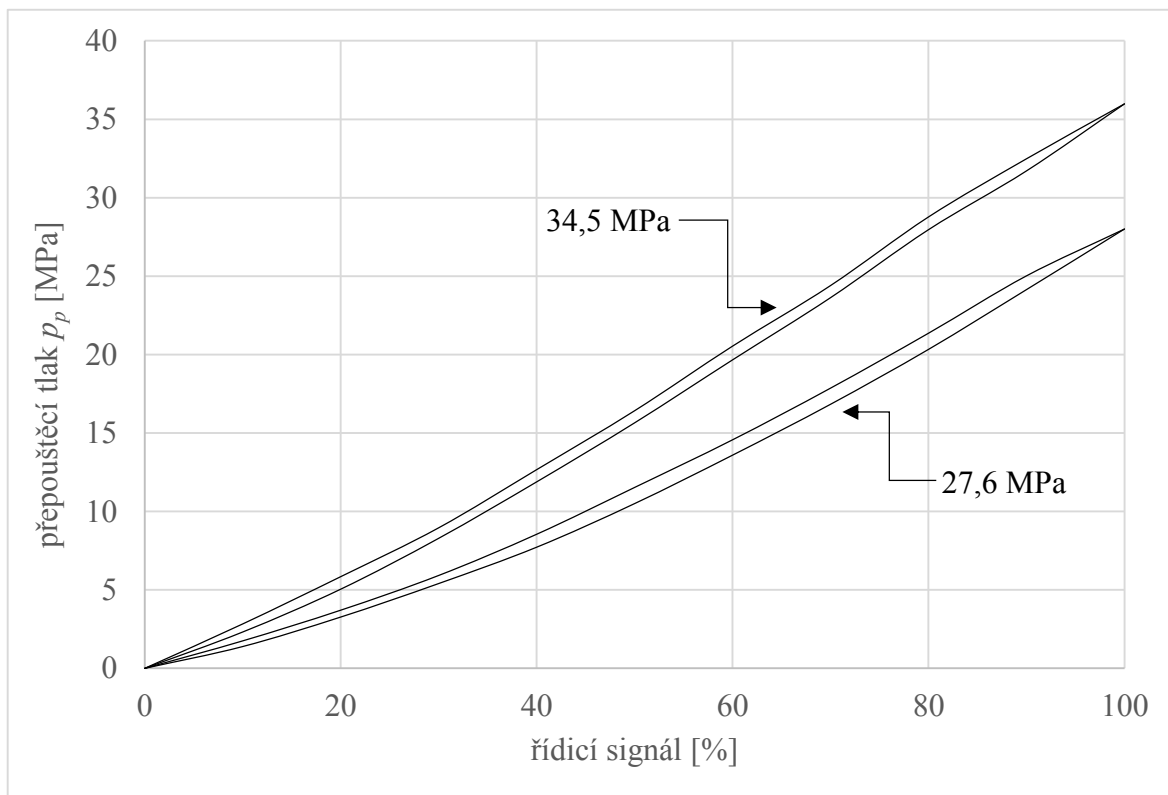
Jako další charakteristika je uvedena závislost přepouštěcího tlaku p_p na průtoku Q s různými hodnotami řídicího signálu, a to 25 %, 50 %, 75 % a 100 % z maximálního řídicího signálu, viz obr. 6.4.

Charakteristika na obrázku 6.5 vyjadřuje hysterezní křivky proporcionálního přepouštěcího ventilu od nulového do maximálního řídicího signálu. Hysterezní křivky

dosahují při maximálním řídicím signálu přepouštěcího tlaku $p_p = 34,5$ a $27,6$ MPa, viz obr. 6.5.



Obr. 6.4 Závislost přepouštěcího tlaku p_p na průtoku Q při různém řídicím signálu [6]

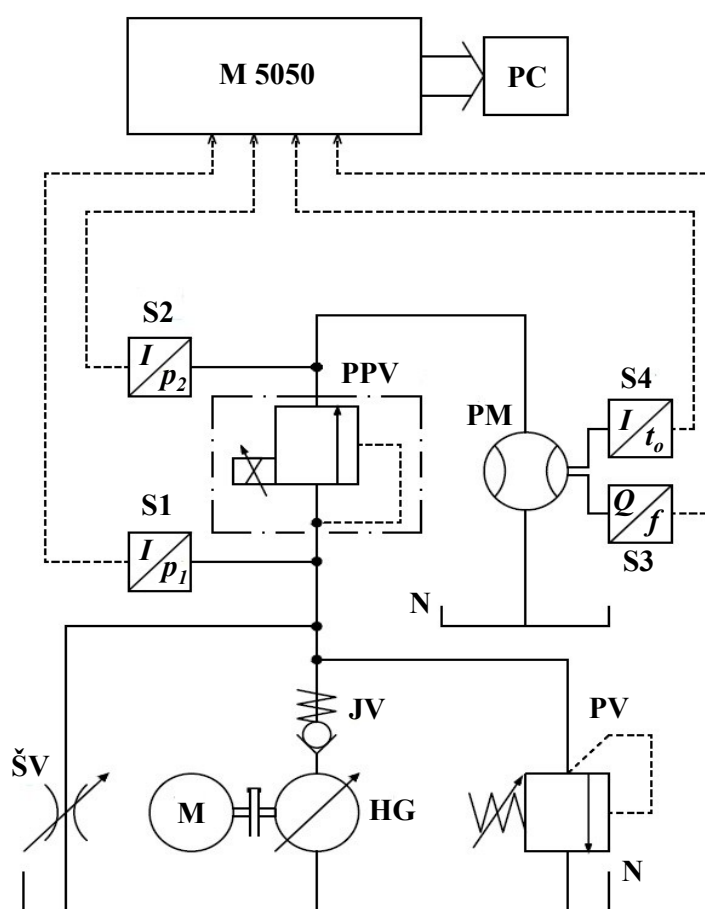


Obr. 6.5 Hysterezní křivky proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV při přepouštěcím tlaku $p_{p1} = 34,5$ MPa a $p_{p2} = 27,6$ MPa [6]

7 Návrh hydraulického obvodu

Měření charakteristik proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV proběhlo na hydraulickém obvodu dle schématu na obrázku 7.1. Obvod se skládá z hydrogenerátoru HG spojeného s elektromotorem M, který jej pohání. Za hydrogenerátorem HG je jednosměrný ventil JV, který chrání čerpadlo před tlakovými špičkami. Dalším prvkem je paralelně připojený pojistný ventil PV, který chrání před kritickým nárůstem tlaku p v obvodu. Pro regulaci průtoku Q přes proporcionální přepouštěcí ventil PPV jsme paralelně připojili škrticí ventil ŠV. Hlavním prvkem v obvodu, kvůli kterému se hydraulický obvod sestavil je proporcionální přepouštěcí ventil PPV. Proporcionální přepouštěcí ventil PPV má jak na vstupu, tak na výstupu připojené snímače tlaku S1 a S2. Za výstupem z proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV je připojen průtokoměr PM se snímačem průtoku S3 a snímačem teploty S4. Jelikož se jedná o otevřený hydraulický obvod, kapalina vtéká zpět do nádrže N, kde může být znovu načerpána.

7.1 Schéma obvodu



Obr. 7.1 Schéma hydraulického obvodu pro měření statických charakteristik proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV

Specifikace prvků:

- elektromotor M: 1460 min⁻¹
- hydrogenerátor HG: PPAR2 - 63
- jednosměrný ventil JV
- pojistný ventil PV: ARAM – 20/350 (ATOS)
- škrticí ventil ŠV: Thermis STB 1200
- proporcionální přepouštěcí ventil PPV: TS58 – 20 (Hydraforce)
- snímače S1, S2: snímače tlaku PR15 (Hydrotechnik)
- snímač S3: zubový průtokoměr GFM70 (Hydrotechnik)
- snímač S4: snímač teploty
- měřicí přístroj: M 5050 (Hydrotechnik)
- nádrž N: minerální olej VG 46

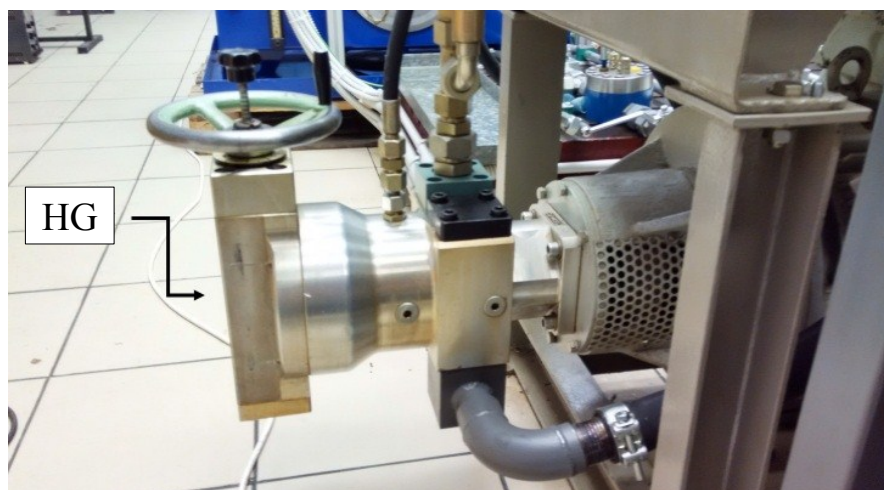
7.2 Popis jednotlivých prvků měřicího obvodu

7.2.1 Hydrogenerátor PPAR2 - 63

V měřicím obvodu byl použit axiální pístový hydrogenerátor HG s ruční regulací geometrického objemu V_g , viz obr. 7.2. Regulace probíhá natáčením kola, ovládaného ručně. Změnu geometrického objemu V_g je možné provádět i během chodu hydrogenerátoru HG. Jedná se o hydrogenerátor s nakloněnou deskou. Zvolený hydrogenerátor HG je samonasávací, a také je schopen dosáhnout vysokého výkonu P na jednotku hmotnosti. Těleso hydrogenerátoru HG je zkonstruováno z hliníku [8].

Základní parametry:

- $n_{max} = 2600 \text{ min}^{-1}$
- $V_g = (0 \div 51,22) \text{ cm}^3$
- $Q_n = 63 \text{ dm}^3$
- $p_n = 25 \text{ MPa}$

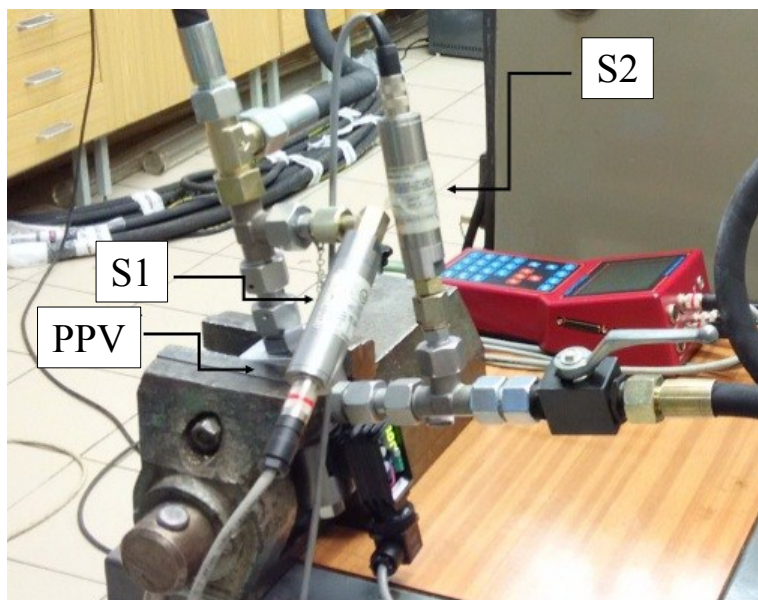


Obr. 7.2 Fotografie axiálního pístového hydrogenerátoru HG s nakloněnou deskou

7.2.2 Proporcionální přepouštěcí ventil TS58 – 20 (Hydraforce)

Popis:

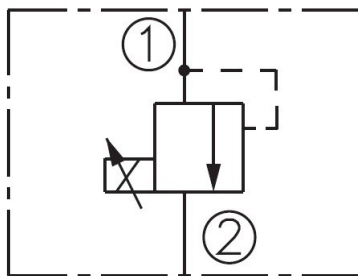
Přesněji řečeno se jedná o proporcionální přepouštěcí vestavný ventil, řízený přímo, řízený vstupním signálem v podobě stejnosměrného proudu, kterému je přímo úměrný výstupní tlak p , viz obr. 7.3. Tento ventil je díky rychlé odezvě schopen nekonečně upravovat výstupní tlak p v daném rozsahu, a proto se hodí do náročnějších aplikací [6].



Obr. 7.3 Fotografie proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV uchyceného ve svěráku společně s připojenými snímači S1, S2 a řídicí elektronikou

Princip činnosti:

Na obrázku 7.4 je ISO značka proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV. Proporcionální přepouštěcí ventil PPV TS58 – 20 zabráňuje toku hydraulické kapaliny z 1 do 2, dokud je tlak p od průtoku Q na vstupu do ventilu odpovídající elektricky indukované elektromagnetické síle F_M . Bez řídicího signálu přivedeného na elektromagnet je ventil otevřený pro průtok z 1 do 2. Protitlak na výstupu 2 je použit pro nastavení tlaku p v poměru ploch 1:1.



Obr. 7.4 ISO Symbol proporcionálního přepouštěcího ventilu TS58 – 20 [6]

Skladba ventilu:

- standartní 12 a 24 voltové cívky
- společná průmyslová dutina ventilu
- nastavitelné voděodolné elektronické cívky se stupněm elektrického krytí IP 69

Technické parametry:

- maximální provozní tlak: 42,75 MPa v 1, 6,89 MPa ve 2
- mezní tlak: 44,82 MPa v 1, 10,34 MPa ve 2
- kritický tlak: 94,46 MPa
- velikost toku: 1,1 dm³·s⁻¹ při tlakovém spádu od 0,55 do 1,03 MPa ze vstupu 1 do výstupu 2 s cívkou pod napětím
- nastavitelný tlakový rozsah od nulového do maximálního řídicího proudu: 0 až 34,47 MPa
- frekvence dynamického mazání: 200 Hz
- doba odezvy z nuly do maxima: 0,045 s
- doba odezvy z maxima do nuly: 0,008 s
- hystereze: 3,5 % při 200 Hz

- průsak: $4,5 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ při 80 % z maximálního nastavení
- provozní teplota se standardním Buna N těsněním: $(- 40 \div 100) \text{ }^\circ\text{C}$
- tekutiny: minerální nebo syntetické oleje s mazacími schopnostmi

7.2.3 Snímač tlaku PR15 (Hydrotechnik)

Technické parametry:

- princip měření: piezorezistivní
- rozsah měření: $(0 \div 40) \text{ MPa}$
- výstupní signál: $(4 \div 20) \text{ mA}$
- elektrický měřicí konektor: 5 - pólový konektor zařízení, M16 x 0,75
- mechanické připojení: závit ISO 228 - G ¼ vnitřní závit
- materiál těsnění: FMK
- stupeň elektrického krytí: IP 40
- materiál tělesa: 1.4140, 1.4301
- membránový materiál: 1.4435
- utahovací moment: 40 Nm ($\pm 5 \text{ Nm}$)

7.2.4 Zubový průtokoměr GFM70 (Hydrotechnik)

Na obrázku 7.5 je zubový průtokoměr PM od firmy Hydrotechnik, který je schopen měřit v rozsahu od $Q = 0,7$ až $70 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Přesnost měření se pohybuje v oblasti $\pm 4 \%$. Zvolený průtokoměr PM má hodnotu geometrického objemu $V_g = 2,222 \text{ cm}^3$ a může pracovat do maximálního tlaku $p = 40 \text{ MPa}$ [10].



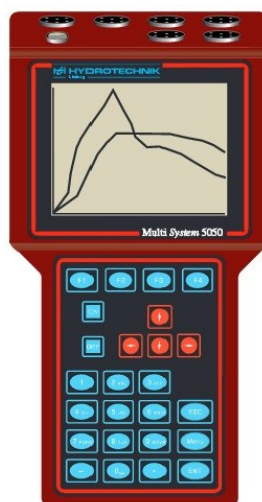
Obr. 7.5 Fotografie zubového průtokoměru GFM70 od firmy Hydrotechnik

Technické parametry:

- | | |
|------------------------------------|--|
| • princip měření: | posunutí |
| • výstupní signál: | frekvenční (obdélník) |
| • rozsah viskozity: | $(10 \div 500) \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ |
| • teplota média: | $(- 20 \div 120) \text{ }^\circ\text{C}$ |
| • teplota okolí: | max. $80 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| • napájecí napětí: | $(12 \div 24) \text{ V DC}$ |
| • elektrický měřicí konektor: | 5 – pólový konektor zařízení, M16 x 0,75 |
| • materiál pláště víka: | 1.4305 |
| • materiál střední a spodní části: | 0.7060 |
| • materiál ozubeného kola: | 1.7131 |
| • materiál těsnění: | FMK |
| • stupeň elektrického krytí: | IP 40 |

7.2.5 Měřicí přístroj M 5050 (Hydrotechnik)

Multi System 5050 od firmy Hydrotechnik je univerzální měřicí přístroj pro snímače s elektrickým výstupem, viz obr. 7.6. Umožňuje měřit veličiny, jako je tlak, teplota, průtok a další, najednou. Maximální počet připojených snímačů současně je 6. M 5050 má 4 analogové vstupy a 2 vstupy frekvenční. Přístroj je napájen buď externě, nebo z baterie. Snímače jsou napájeny z přístroje. U měřicího přístroje M 5050 můžeme měřené hodnoty odečítat z displeje nebo si je nechat ukládat do vnitřní paměti [5].



Obr. 7.6 Měřicí přístroj M5050 od firmy Hydrotechnik [5]

Technické parametry:

- analogové vstupy proudové: $(0 \div 20) \text{ mA}$, $(4 \div 20) \text{ mA}$
- analogový vstup napěťový: $(0 \div 10) \text{ V}$
- frekvenční vstup
- externí napájení: $(24 \div 30) \text{ V}$

7.2.6 Elektronika pro řízení proporcionálních ventilů EL6 (Argo Hytos)

Řídicí elektronika je určena k ovládání proporcionálních ventilů s jedním ovládacím elektromagnetem. Její velkou předností je miniaturní provedení v podobě nástrčky na patku normalizovaného DIN konektoru, viz obr. 7.7. Na vrchní ploše desky elektroniky jsou upevněny dva otočné selektory, svorkovnice pro připojení vodičů napájení a řízení a třímístný LED displej. Pro výběr parametru slouží selektor, označený „SELECT“. Požadovaná hodnota se nastavuje selektorem s označením „ADJUST“. V základním režimu displej zobrazuje hodnotu výstupního/vstupního parametru, v režimu nastavení pak zkratku zvoleného parametru a nastavovanou hodnotu [11].

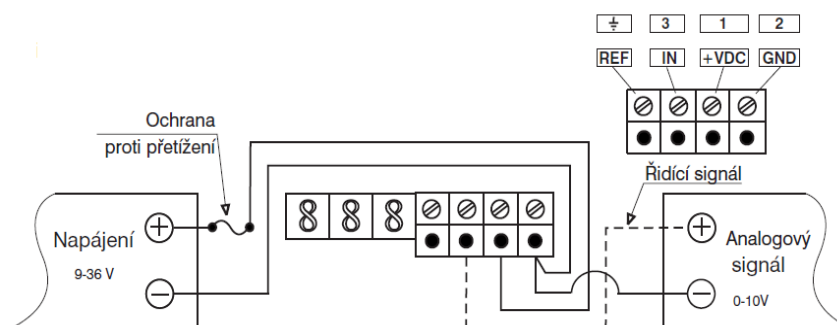


Obr. 7.7 Fotografie elektroniky pro řízení proporcionálních ventilů EL6

Technické parametry:

- napětí zdroje: (9 ÷ 36) V DC
- maximální výstupní proud: 3,00 A
- vstupní řídicí signál: (0 ÷ 10) V
- maximální čas náběhu: 99,5 s
- rozsah frekvence dynamického mazání: (40 ÷ 450) Hz
- linearita: 1 %
- provozní teplota: (- 40 ÷ 75) °C
- doporučený průřez přívodních vodičů: (0,5 ÷ 0,75) mm²
- stupeň krytí: IP 65

Na obrázku 7.8 je schéma zapojení řídicí elektroniky. Řízení zajišťuje externí analogový signál $U = 0$ až 10 V.



Obr. 7.8 Schéma zapojení elektroniky při řízení externím analogovým signálem U [11]

8 Popis měření a vyhodnocení statických charakteristik

Hydraulický obvod je sestaven dle schématu, viz obr. 7.1. K hydraulickému obvodu jsou připojeny snímače tlaku p , průtoku Q a teploty oleje t_o . Všechny snímače jsou zapojeny pomocí přípojky MINIMESS. Snímače S1, S2 a S4 jsou připojeny na analogové vstupy měřicího přístroje M 5050. Sensor S3 je zapojen na frekvenční vstup měřicího přístroje M 5050. K proporcionálnímu přepouštěcímu ventilu PPV je připojena elektronika pro řízení proporcionálních ventilů. Elektronika je propojena s počítačem PC, na kterém se v programu Matlab Simulink zadávají požadované vstupní řídicí signály. Na elektronice je nastaveno externí řízení analogovým signálem $U = (0 \div 10)$ V. Dále je nastaven maximální výstupní proud pro cívku elektromagnetu, který je označen zkratkou Hi = 1,3 A, minimální výstupní proud pro cívku elektromagnetu je pod zkratkou Lo = 0,24 A a frekvence dynamického mazání dFr = 200 Hz.

8.1 Postup stanovení statické charakteristiky $p_p - Q$

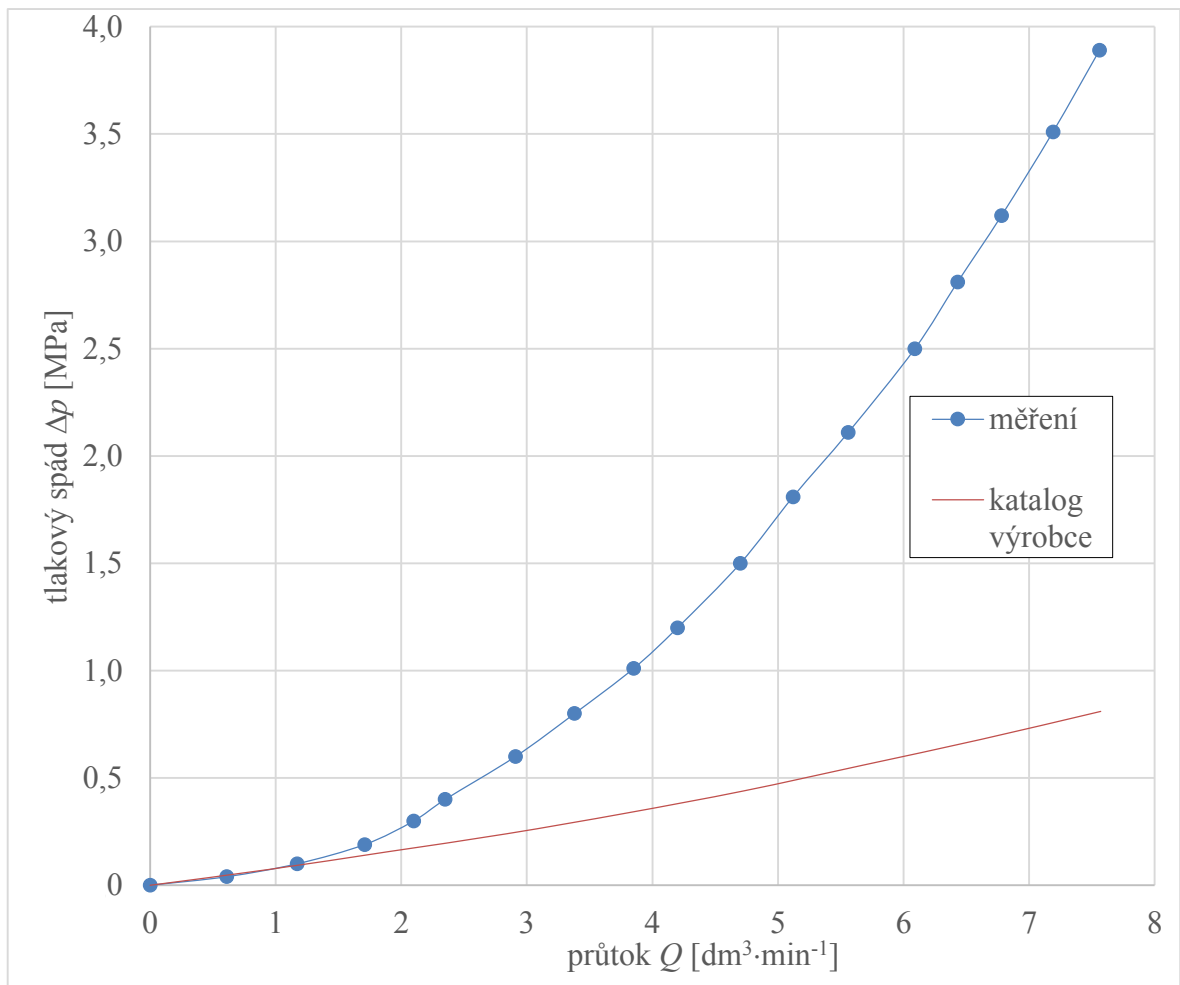
Na pojistném ventilu PV nastavíme pojistný tlak $p_{pv} = 23$ MPa. Zapneme hydrogenerátor HG. Otočením ručního kola na hydrogenerátoru HG změním geometrický objem V_g . Změnou geometrického objemu V_g nastavíme průtok Q . Zahřejeme olej na požadovanou teplotu $t_o = 50^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$. Pomocí škrticího ventilu ŠV větvíme průtok Q tak, že část oleje proudí přes proporcionální přepouštěcí ventil PPV a část přes škrticí ventil ŠV. Postupným uzavíráním škrticího ventilu ŠV zvyšujeme průtok Q přes proporcionální přepouštěcí ventil PPV. Při postupném uzavírání škrticího ventilu ŠV měříme průtok Q skrz proporcionální přepouštěcí ventil PPV a rovněž měříme tlakový spád Δp na tomto ventilu. Průtok Q měříme pomocí zubového průtokoměru PM, který je umístěn za výstupem z proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV. Tlakový spád Δp měříme pomocí tlakových senzorů S1, který je umístěn na vstupu do proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV a S2, který je umístěn na výstupu z proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV. Hodnoty těchto veličin jsou zobrazovány na displeji měřicího přístroje M 5050.

Stejný postup měření provedeme pro celý rozsah vstupního napětí U proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV, který je $U = (0 \div 3)$ V, po krocích $U = 0,5$ V. Z naměřených dat vypracujeme grafy a vyhodnotíme je, viz obr. 8.1, 8.2.

8.2 Měření veličin pro stanovení $p_p - Q$ charakteristiky

V grafu na obrázku 8.1 jsou zakresleny závislosti tlakového spádu Δp na průtoku Q na proporčním přepouštěcím ventilu PPV při nulovém řídicím signálu. Tento graf porovnává naměřené hodnoty s hodnotami z katalogu výrobce. Měření se provádělo s hydraulickým olejem viskózní třídy VG 46, který měl při teplotě oleje $t_o = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ kinematickou viskozitu $\nu = 31 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$. Katalogové hodnoty odpovídají minerálnímu oleji VG 32 při teplotě oleje $t_o = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, $\nu = 32 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$.

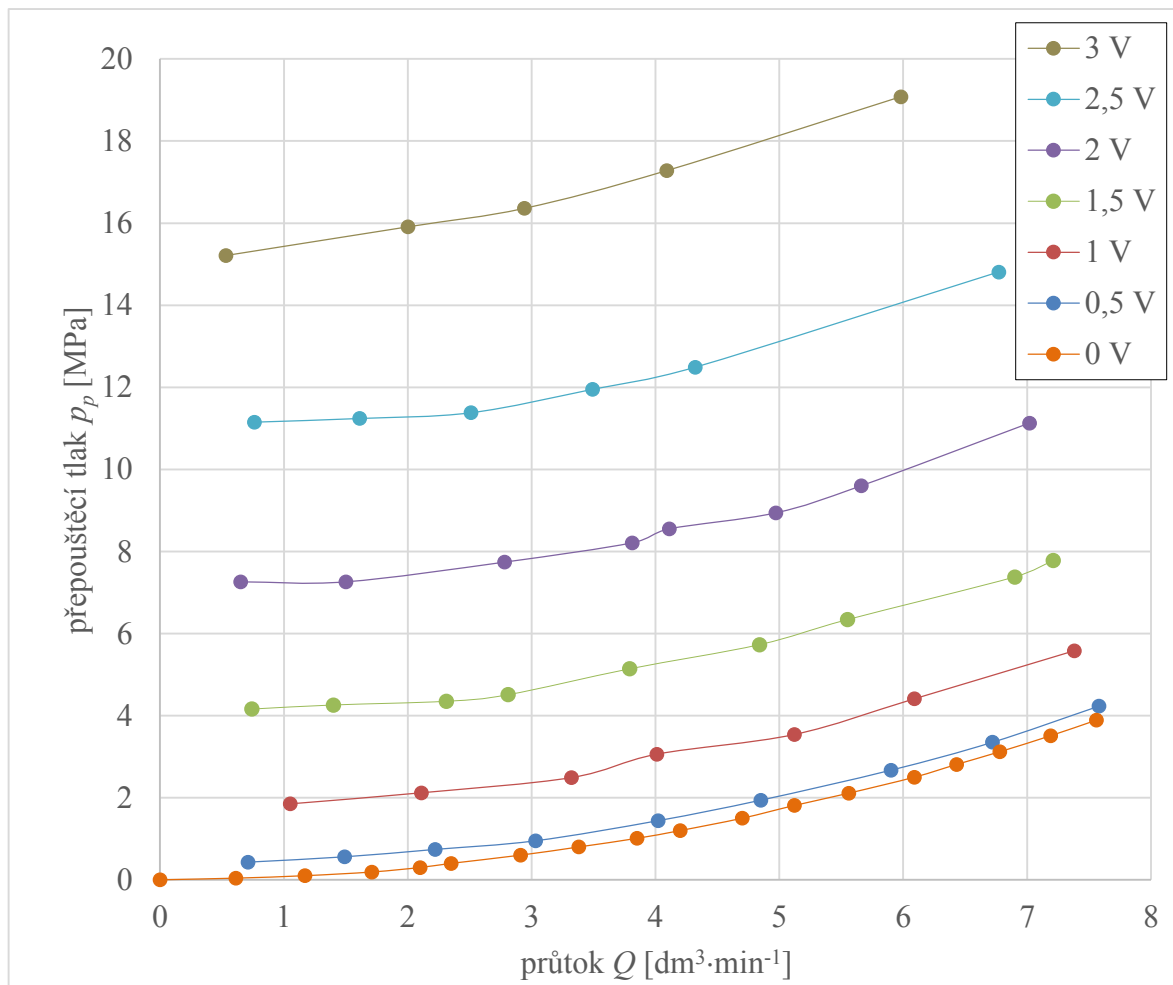
Je vidět, že se zvyšujícím se průtokem Q roste tlakový spád Δp na proporčním přepouštěcím ventilu PPV. Graf nám také potvrzuje, že je ventil v základní poloze otevřen. Z grafu lze vidět, že se naměřené hodnoty s hodnotami uvedenými v katalogu výrobce příliš neshodují. Od průtoku $Q = 1 \text{ dm}^3\cdot\text{min}^{-1}$ nám tlakový spád Δp začal narůstat, což se projevuje ke konci měření, kde je rozdíl tlakových spádů Δp výrazný. Proporční přepouštěcí ventil PPV neudržel minimální nárůst tlakového spádu Δp při zvyšujícím se průtoku Q , tak jak uvádí výrobce. Rozdíl tlakového spádu Δp při zvyšujícím se průtoku Q mezi experimentálním měřením a katalogem může být způsoben tím, že výrobce mohl měřit bez připojené elektroniky, popřípadě mohou hrát roli nastavené offsety Lo a Hi na řídicí elektronice. Dalším důvodem odlišnosti naměřených hodnot a hodnot z katalogu výrobce mohla být mírná odlišnost v kinematické viskozitě oleje ν .



Obr. 8.1 Graf $\Delta p - Q$ charakteristiky bez řídicího napětí na ventilu

Při dalších měření se na cívku proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV přivedl řídicí signál, viz obr. 8.2. Vstupní napětí na zesilovači při prvním měření bylo $U = 0,5$ V. Trend naměřeného průběhu $p_p - Q$ charakteristiky při vstupním napětí $U = 0,5$ V se podobal trendu průběhu $p_p - Q$ charakteristiky při nulovém vstupním napětí U . Přivedený řídicí signál pouze zvýšil přepouštěcí tlak p_p , který je měřen před proporcionálním přepouštěcím ventilem PPV a odpovídá tlaku p_1 .

Z grafu je patrné, že při zvětšujícím se vstupním napětí U při konstantním průtoku Q přes proporcionální přepouštěcí ventil PPV roste přepouštěcí tlak p_p na proporcionálním přepouštěcím ventilem PPV. Při konstantním vstupním napětí U roste přepouštěcí tlak p_p na proporcionálním přepouštěcím ventilem PPV se zvyšujícím se průtokem Q přes proporcionální přepouštěcí ventil PPV. Pro všechny měřené vstupní napětí U byl trend nárůstu přepouštěcího tlaku p_p na proporcionálním přepouštěcím ventilem PPV v závislosti na průtoku Q skrz proporcionální přepouštěcí ventil PPV obdobný.



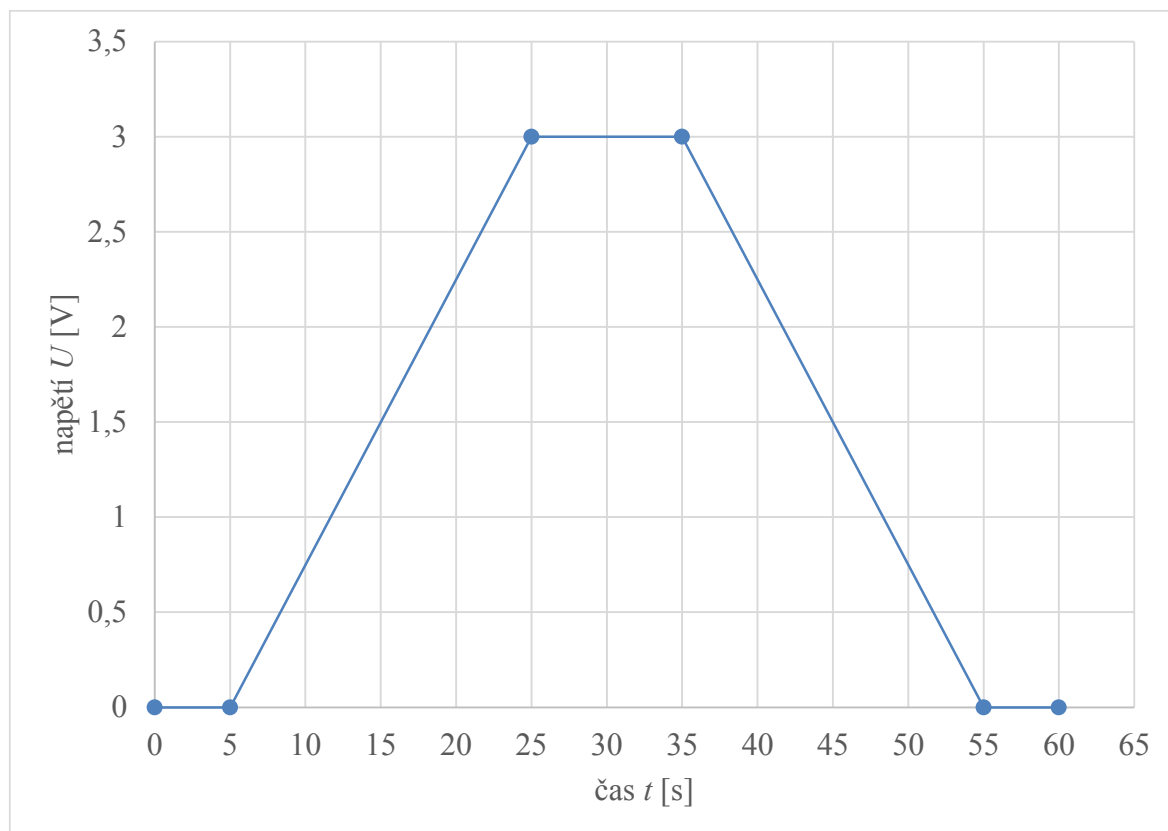
Obr. 8.2 Graf $p_p - Q$ charakteristiky při vstupním signálu $U = (0 \div 3)$ V

8.3 Postup stanovení hystereze

Na pojistném ventilu PV nastavíme pojistný tlak $p_{pv} = 23$ MPa. Zapneme hydrogenerátor HG. Otočíme ručním kolem na hydrogenerátoru HG pro změnu geometrického objemu V_g a tím nastavíme průtok Q . Uzavřeme škrticí ventil ŠV. V programu Matlab Simulink nastavíme řídicí signál, viz obr. 8.3. Na měřicím přístroji M 5050 nastavíme ukládání měřených hodnot do paměti přístroje s časovým intervalem snímání 1 ms. Při plynulém růstu a poklesu řídicího signálu měříme průtok Q skrz proporcionální přepouštěcí ventil PPV, dále měříme tlak p_1 a tlak p_2 . Průtok Q měříme pomocí průtokoměru PM na výstupu z proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV. Na průtokoměr PM je připojen snímač průtoku Q S3. Tlak p_1 je snímán na vstupu do proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV, tlak p_2 je snímán na výstupu proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV. Tlaky měříme pomocí senzorů tlaku S1 a S2. Po posledním měření připojíme měřicí přístroj M 5050 k počítači PC a zkopírujeme uložená data z paměti M 5050. Z naměřených dat vypracujeme grafy a vyhodnotíme je.

8.4 Měření veličin pro stanovení hystereze

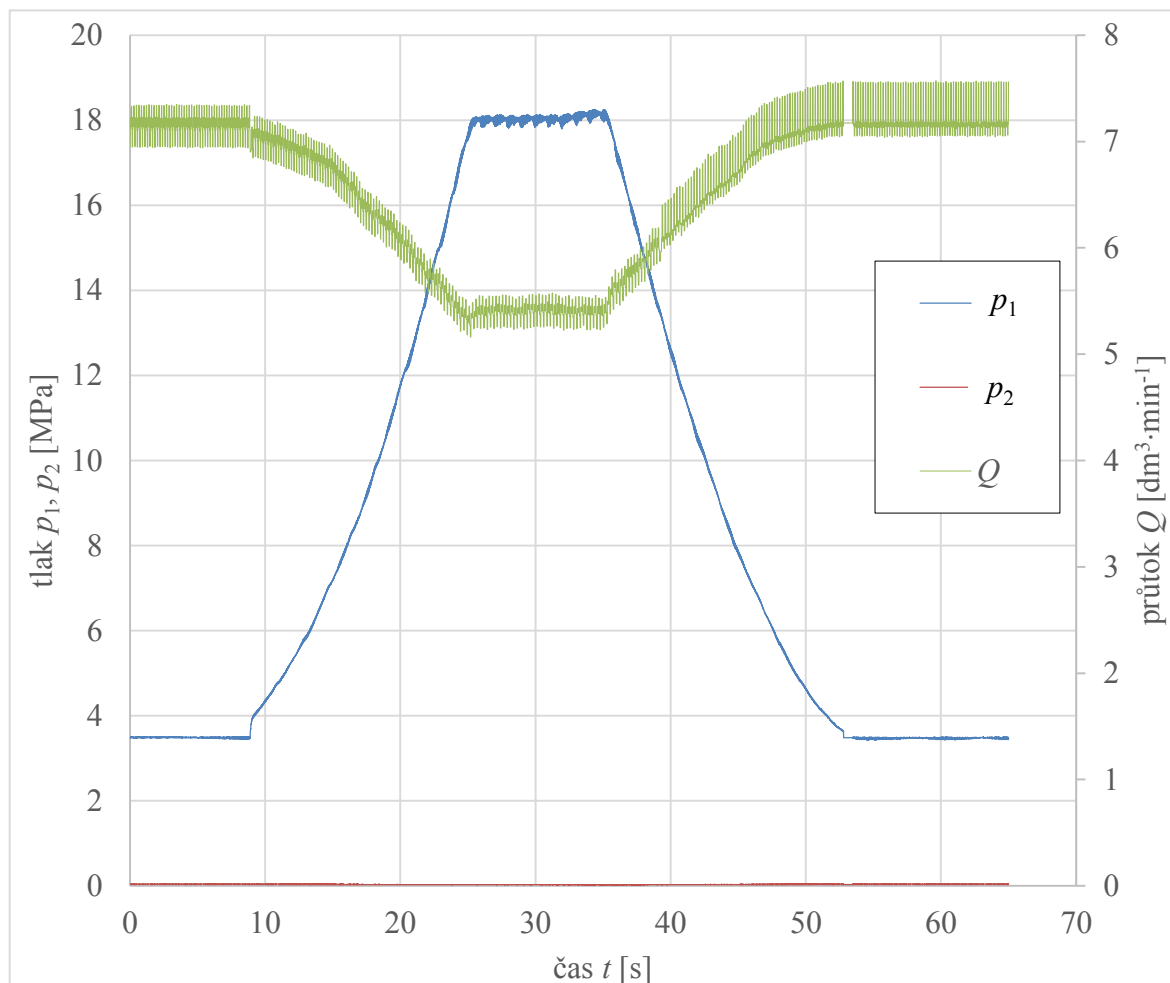
Pro měření hystereze byl naprogramován vstupní řídicí signál, viz obr. 8.3. Z grafu lze vidět, že řídicí signál plynule roste do maximální hodnoty vstupního napětí $U = 3 \text{ V}$. To odpovídá přepouštěcímu tlaku $p_p = 18 \text{ MPa}$ na proporcionálním přepouštěcím ventilu PPV. Poté se řídicí signál ustálí a po čase $t = 10 \text{ s}$ začne plynule klesat.



Obr. 8.3 Vstupní řídicí signál při měření hystereze

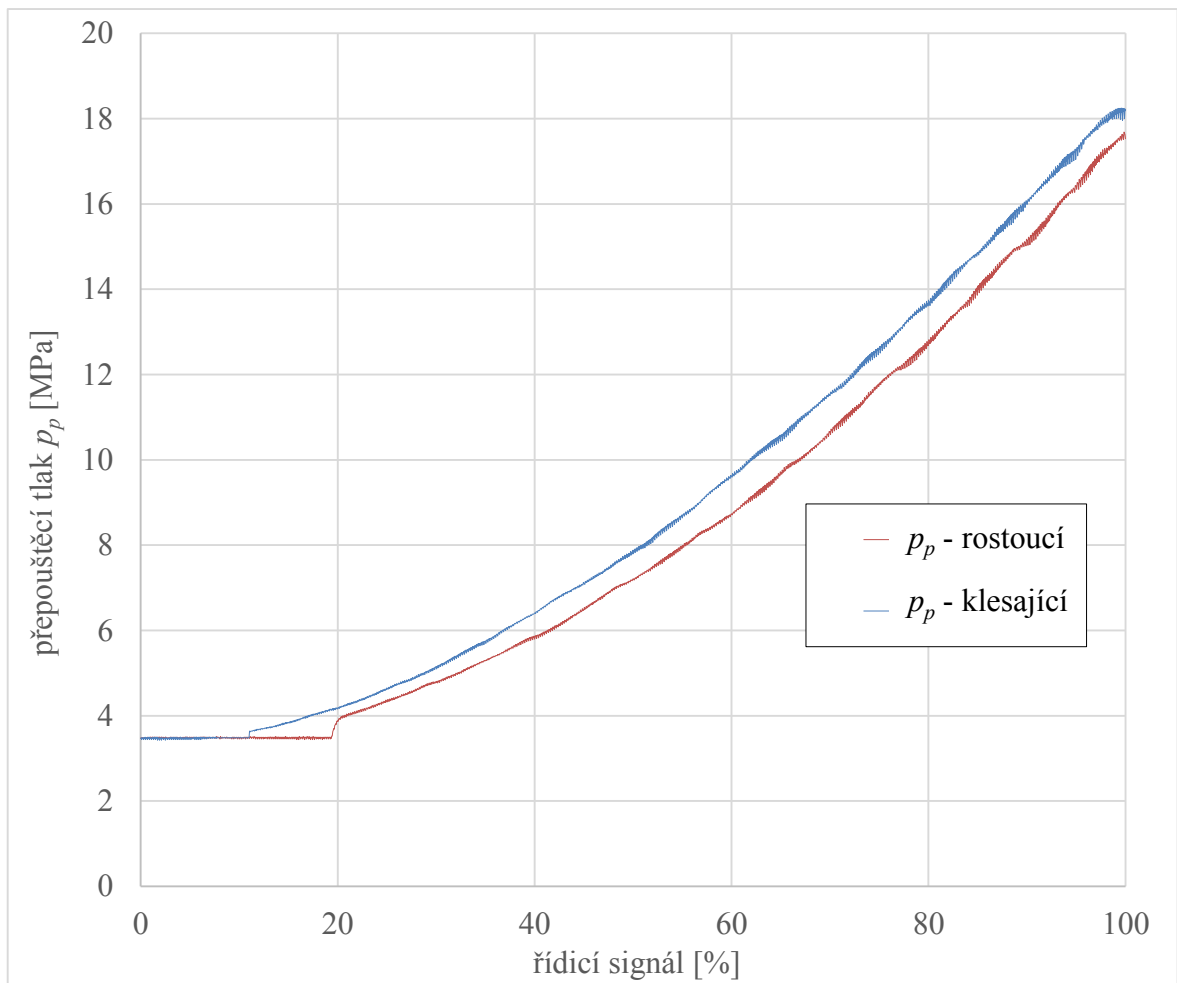
Na obrázku 8.4 je graf měřených hodnot při přivedení vytvořeného řídicího signálu U . Z grafu je vidět, že při nulovém signálu proporcionálním přepouštěcím ventilem PPV protékal maximální průtok Q při minimálním tlakovém spádu Δp . Při plynule se zvyšujícím vstupním signálu U , začal průtok Q klesat a tlakový spád Δp narůstat. Na tlaku p_1 je vidět citlivost proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV, kdy se začne tlak p_1 zvyšovat až při dostatečném nárůstu řídicího signálu. Po dosažení řídicího napětí $U = 3 \text{ V}$ dosáhl přepouštěcí tlak hodnoty $p_p = 18 \text{ MPa}$. Průtok Q skrz proporcionální přepouštěcí ventil PPV, při řídicím napětí $U = 3 \text{ V}$, klesl přibližně o $Q = 1,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, oproti průtoku $Q = 7,15 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, při řídicím napětí $U = 0 \text{ V}$.

Při plynulém klesání řídicího signálu se začal průtok Q a tlakový spád Δp vracet do původních hodnot. Rozdíl přepouštěcího tlaku p_p (p_1) při plynulém stoupání z nuly do maximálního řídicího signálu a zpětném klesání je znázorněn na obrázku 8.5.



Obr. 8.4 Graf závislosti tlaků p_1 , p_2 a průtoku Q na vstupním řídicím signálu U

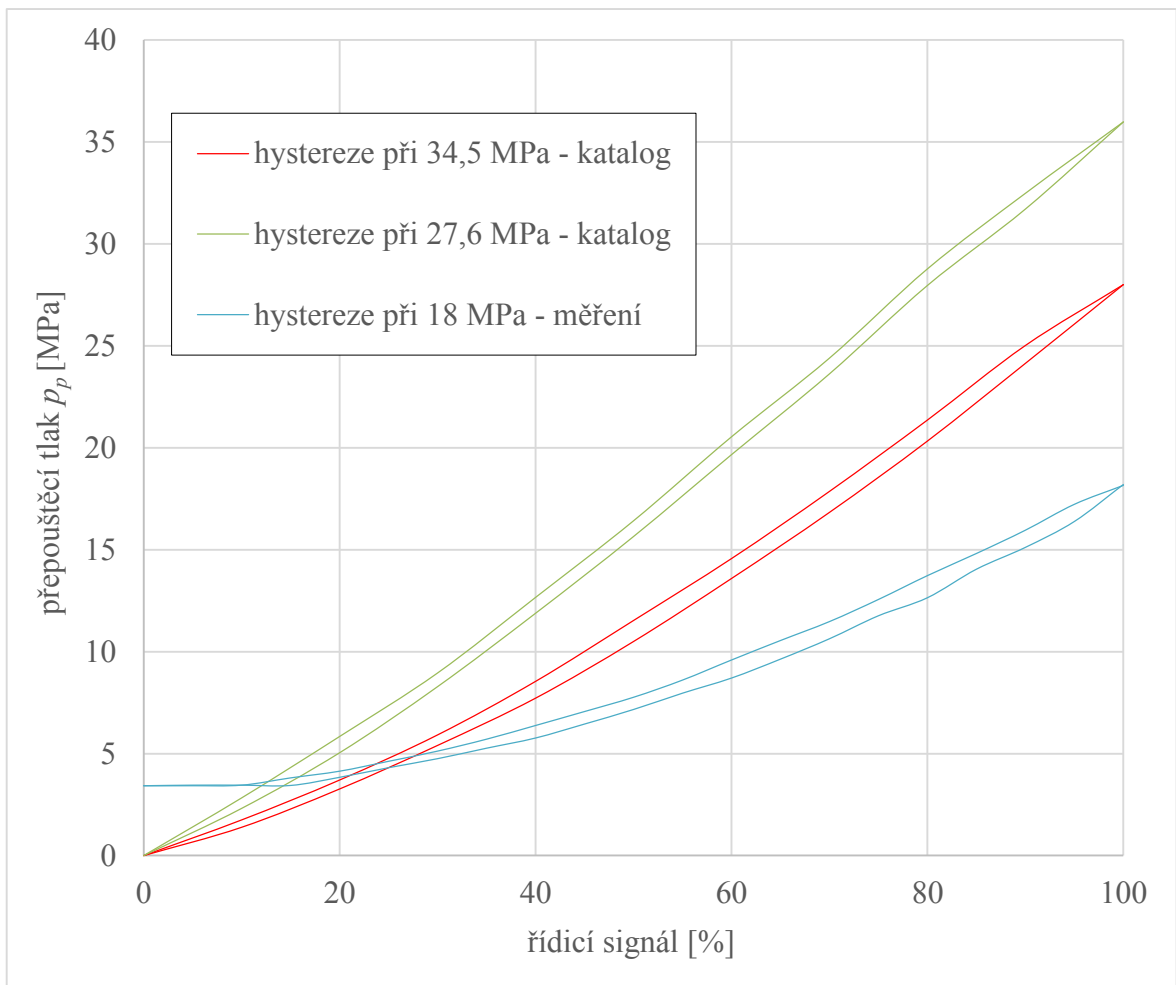
Na obrázku 8.5 je graf závislosti přepouštěcího tlaku p_p na řídicím signálu vyjádřený hysterezní křivkou, pro maximální přepouštěcí tlak $p_p = 18$ MPa, který odpovídá maximálnímu řídicímu signálu $U = 3$ V. Z grafu lze vidět, že přepouštěcí tlak p_p na proporcionálním přepouštěcím ventilu PPV vzrostl až při zaznamenání dostatečného nárůstu řídicího signálu na cívce proporcionálního přepouštěcího ventilu PPV. Síla F_M elektromagnetu ventilu překonala pasivní odpory ventilu přibližně při 20 % řídicího signálu na cívce. To je patrné z obrázku 8.5 při nárůstu řídicího signálu. Největší rozdíl hodnot řídicího signálu pro stejný přepouštěcí tlak p_p na proporcionálním přepouštěcím ventilu PPV během plynulého nárůstu a poklesu vstupního řídicího signálu je v oblasti přepouštěcího tlaku $p_p = (9 \div 10)$ MPa. Hystereze v této oblasti dosahuje hodnoty 4,7 %.



Obr. 8.5 Graf závislosti přepouštěcího tlaku p_p na řídicím signálu, pro maximální přepouštěcí tlak $p_p = 18$ MPa

Na obrázku 8.6 je graf, ve kterém jsou porovnány hysterezní křivky pro naměřené a katalogové hodnoty při různě nastaveném maximálním přepouštěcím tlaku p_p . Z grafu je vidět, že hysterezní křivka nezačíná v nulovém tlaku p obdobně jako je tomu v katalogu. To mohlo být způsobeno například vyšším průtokem Q skrz proporcionální přepouštěcí ventil PPV při měření, který měl za následek vyšší tlakový spád Δp na proporcionálním přepouštěcím ventilu PPV. Dále mohl být rozdíl způsoben již zmíněným nastavením dolního offsetu L_o na elektronice pro řízení proporcionálních ventilů. Velikosti hysterezí z měření a z katalogu jsou obdobné. Hystereze stanovená měřením je přibližně o 1 % větší než uvádí výrobce.

Rozdíly měření oproti katalogu mohl ovlivnit větší průtok Q než u výrobce a jinak nastavená řídicí elektronika pro proporcionální ventily, než která byla použita výrobcem.



Obr. 8.6 Graf hysterezních křivek pro různě nastavené maximální přepouštěcí tlaky p_p

9 Závěr

Práce se zabývá měřením a stanovením statických charakteristik proporcionálního přepouštěcího ventilu TS58 -20.

Byla zpracována rešerše na téma proporcionální řídicí technika se zaměřením na proporcionální tlakové ventily. Byl navržen a sestaven měřicí obvod pro stanovení statických charakteristik proporcionálního přepouštěcího ventilu. Byly zvoleny vhodné měřicí senzory a měřicí přístroj. Byly proměřeny statické charakteristiky $p_p - Q$ při různém vstupním signálu. Naměřená data byla zpracována pro vytvoření grafů. První graf měření byl vytvořen pro porovnání naměřených hodnot s katalogovými hodnotami statické $\Delta p - Q$ charakteristiky při nulovém vstupním signálu U . V grafu bylo vidět, že se zvyšujícím se průtokem Q skrz proporcionální přepouštěcí ventil se zvětšoval tlakový spád Δp na proporcionálním přepouštěcím ventilu. Bylo stanoveno, že tlakový spád Δp při maximálním průtoku Q přes proporcionální přepouštěcí ventil nebyl takový, jak uváděl výrobce. Měřený tlakový spád Δp byl více závislý na průtoku Q než v katalogu výrobce. Bylo stanoveno, že důvodem odlišných výsledných hodnot z měření a hodnot z katalogu výrobce mohlo být, že výrobce mohl provádět měření bez připojené řídicí elektroniky nebo s jiným nastavením offsetů Hi a Lo. Dalším důvodem mohla být mírná odlišnost kinematické viskozity v při měření, než která byla uvedena v katalogu výrobce.

Druhý graf byl vytvořen pro porovnání závislosti přepouštěcího tlaku p_p proporcionálního přepouštěcího ventilu na průtoku Q skrz proporcionální přepouštěcí ventil pro různé hodnoty řídicího signálu, které odpovídaly vstupnímu napětí U . Bylo stanoveno, že s rostoucím vstupním napětím U při konstantním průtoku Q přes proporcionální přepouštěcí ventil se zvyšuje přepouštěcí tlak p_p na proporcionálním přepouštěcím ventilu.

Další měření bylo věnováno stanovení hystereze proporcionálního přepouštěcího ventilu. V programu Matlab Simulink byl vytvořen řídicí signál, který z nulového signálu plynule vzrostl na maximální vstupní signál a po určité době začal plynule klesat zpět na nulový vstupní signál.

Po naměření hodnot byly vypracovány grafy. Z grafu bylo stanoveno, že při nulovém vstupním signálu proudí přes proporcionální přepouštěcí ventil maximální průtok Q při nejmenším tlakovém spádu Δp . Dále bylo stanoveno, že při plynulém nárůstu řídicího napětí U začíná průtok Q klesat a tlakový spád Δp narůstat. Při maximálním vstupním

napětí U odpovídal tlak p_1 maximálnímu přepouštěcímu tlaku p_p proporcionálního přepouštěcího ventilu. Po plynulém poklesu se tlakový spád Δp na proporcionálním přepouštěcím ventilu a průtok Q skrz proporcionální přepouštěcí ventil vrátili na původní hodnoty před přivedením řídicího signálu.

V následujícím grafu byla vyjádřena závislost přepouštěcího tlaku p_p na vytvořeném řídicím signálu pomocí hysterezní křivky. Bylo vyhodnoceno, že přepouštěcí tlak p_p začal stoupat až po dostatečném nárůstu řídicího signálu. Tento jev byl způsoben citlivostí proporcionálního přepouštěcího ventilu. Poté byla stanovena hystereze proporcionálního přepouštěcího ventilu.

V posledním grafu byla srovnána závislost přepouštěcího tlaku p_p na velikosti řídicího signálu při různě nastaveném maximálním přepouštěcím tlaku p_p pomocí hysterezní křivky. Bylo vyhodnoceno, že při měření hysterezní křivka nezačínala v nulovém tlaku, tak jako u výrobce. Důvodem mohlo být měření při větším průtoku Q přes proporcionální přepouštěcí ventil, než u výrobce. Dále bylo vyhodnoceno, že odlišnosti v hysterezních křivkách mohlo způsobit jiné nastavení řídicí elektroniky. Bylo také stanoveno, že velikosti hysterezí jsou obdobné při různém maximálním přepouštěcím tlaku p_p .

10 Seznam použité literatury

- [1] BAROŠKA, J. *Hydrostatické mechanizmy*. Hydropneutech s.r.o., Žilina 2012, 388 s. ISBN 978-80-970 897-2-6.
- [2] PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 2. Řídicí prvky hydrostatických systémů. Příslušenství hydraulických obvodů*. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2008, 2. vyd., 140 s. ISBN 978-80-248-1827-6.
- [3] PIVOŇKA, J. a kol. *Tekutinové mechanizmy*, Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987, 04-255-87, 623 s.
- [4] DÖRR, H., EWALD, R., et al. *Der Hydraulik Trainer Band 2, Proportional - und Servoventil - Technik*. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth GmbH, 1986. ISBN 3-8023-0898-0.
- [5] HRUŽÍK, L. *Měření veličin v hydraulice s využitím přístroje Hydrotechnik*, Ostrava 2012, 54 s. pdf.
- [6] *Hydraforce.com* [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.hydraforce.com/proport/Prop-pdf/2-815-1.pdf>
- [7] PAVLOK, B., HRUŽÍK, L., BOVA, M. *Hydraulická zařízení strojů*. Ostrava, 2007. Učební text. VŠB - Technická univerzita Ostrava. [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/PDF/hydraulicka-zarizeni-stroju.pdf>
- [8] *pelikan-z.cz: AXIÁLNÍ PÍSTOVÉ HYDROGENERÁTORY: PPAR 2* [online]. [cit. 2016 - 05 - 06]. Dostupné z: <http://www.pelikan-z.cz/images/pdf/gar-2.pdf>
- [9] Řídicí a regulační technika: EL4. *ARGO-HYTOS.com* [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.argo-hytos.com/cz/vyrobky/ridici-a-regulacni-technika/proporcionalni-technika/el4.html>
- [10] *Hydrotechnik.com* [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.hydrotechnik.com/en-us/products/sensors/>
- [11] *Argo-hytos.com: EL6* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: http://www.argo-hytos.com/fileadmin/user_upload/products/valves/downloads/Katalog_EL6_hc9150_CZ_03.pdf