



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY

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

TESTOVACÍ JEDNOTKA PROPORCIONÁLNÍCH VENTILŮ

TESTING UNIT FOR PROPORTIONAL VALVES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VÁCLAV SOVA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ROBERT GREPL, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Václav Sova

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

obor: **Mechatronika (3906R001)**

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

Testovací jednotka proporcionálních ventilů

v anglickém jazyce:

Testing unit for proportional valves

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je navrhnout testovací jednotku proporcionálních ventilů, která bude sloužit pro ověřování funkce ventilů při uvádění hydraulických systémů do provozu. Jednotka musí být kompatibilní se standardními ventily renomovaných světových výrobců a musí umožňovat volbu typu řídicích signálů.

V úvodu je nutné provést analýzu dostupných řešení a provést jejich zhodnocení. Na základě této analýzy bude dále rozpracovaná nová koncepce, která bude optimální dle požadavků zadavatele. Jedná se o návrh kompaktní přenosné jednotky, včetně tvorby dokumentace a výroby prototypu. V závěru bude provedeno testování jednotky a zhodnocení výsledků testů.

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

Cíle bakalářské práce:

- 1) Studium dokumentace k proporcionálním ventilům a přehled požadovaných I/O signálů pro jejich řízení. Zpracování požadavků na testovací jednotku.
- 2) Realizace testovací jednotky v prostředí Matlab/Simulink a RT Toolbox s použitím karty MF624. Konzultace se zadavatelem (ŽĎAS).
- 3) Návrh a výroba přenosné jednotky založené na mikrokontroléru PIC. Tvorba SW pomocí nástrojů v Simulinku (RT Workshop, Kerhuel tbx.).
- 4) Testování prototypu jednotky na ventilu dodaném zadavatelem.

Seznam odborné literatury:

- Valášek, M.: Mechatronika, Vydavatelství ČVUT 1995
- Noskivič: Modelování a identifikace systémů
- dokumentace k proporcionálním ventilům dodaná firmou ŽĐAS

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

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

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vývojem a konstrukcí přenosné testovací jednotky hydraulických proporčních ventilů, jejíž předpoklad využití je především při údržbě, kontrole a uvádění hydraulických zařízení do provozu. Součástí je úvod do problematiky proporčních ventilů a již existujících testovacích jednotek. Během práce se seznámíme s vývojem a konstrukcí elektroniky, která je založena na mikrokontroléru dsPIC, jehož obslužný program budeme vyvíjet pomocí Kerhuel Toolboxu v prostředí Simulink. Výsledkem práce bude prototyp testovací jednotky.

Klíčová slova:

testovací jednotka proporčních ventilů; proporční ventil

Abstract

This bachelor thesis deals with development and construction of a portable testing unit for hydraulic proportional valves, whose assumption of usage is primarily for maintenance, inspection and commissioning of hydraulic machinery in operation. The thesis also includes an introduction to the issue of proportional valves and the existing testing units. Through the work, the development and design of electronics, based on dsPIC microcontroller is introduced and its utility program will be developed using Kerhuel Toolbox in Simulink environment. The result of the work will be a prototype of testing unit.

Keywords:

testing unit for proportional valves; proportional valve

Bibliografická citace práce

SOVA, V. Testovací jednotka proporcionálních ventilů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Robert Grepl, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně na základě svých znalostí, dovedností, rad a pokynů vedoucího bakalářské práce. A uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Brně dne:

.....
Václav Sova

Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mi byli nápomocni při tvorbě této bakalářské práce. Především vedoucímu práce Ing. Robertu Greplovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky. Dále pak kolegům z Mechlabu za příjemné a přátelské pracovní prostředí. A v neposlední řadě rodině, jež mě podporuje a umožnila mi studovat a věnovat se škole.

Obsah

1	Úvod	1
2	Rozbor zadání a stanovení cíle řešení	2
3	Rešerše	3
3.1.	Proporcionální ventily	3
3.1.1	Akční člen.....	3
3.1.2	Senzor.....	3
3.1.3	Elektronika	4
3.2.	Existující testovací jednotky	5
3.2.1	Parker EX-M03.....	5
3.2.2	Bosch Rexroth VT-VETSY-1	6
3.2.3	Dietz ValveExpert Checker	7
4	Závěr	8
5	Použité zkratky	9
6	Použité zdroje a literatura	10

Seznam obrázků

Obr. 1: Proporcionální ventil s integrovanou elektronikou a zpětnou vazbou [2]	1
Obr. 2: Schéma proporcionálního šoupátkového rozvaděče [18]	3
Obr. 3: Princip LVDT [19].....	4
Obr. 4: Vstupní konektor 6 + PE [2].....	4
Obr. 5: Parker EX-M03 [5]	5
Obr. 6: Bosch Rexroth VT-VETSY-1 [6]	6
Obr. 7: Dietz ValveExpert Checker [7].....	7

Seznam tabulek

Tab. 1: Popis kontaktů konektoru 6 + PE	4
---	---

1 Úvod

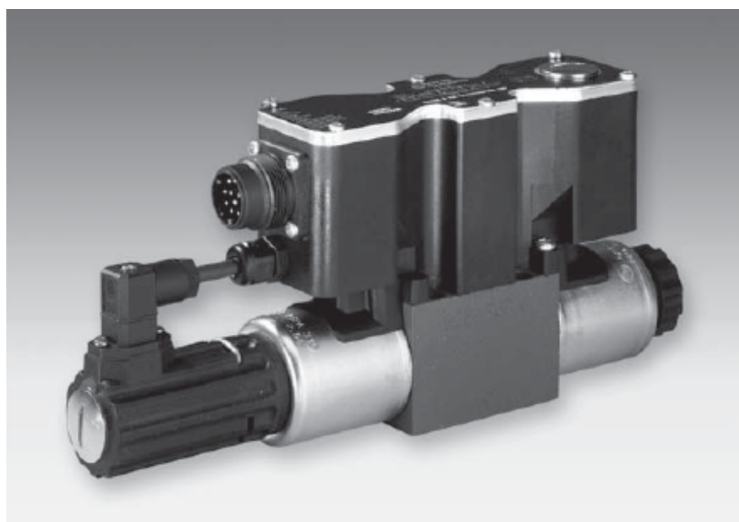
Hydraulické obvody jsou důležitou součástí průmyslových strojů a zařízení. Jejich výhodou je možnost působení velkou silou při malých rozměrech a hmotnosti. Také jejich složitost a náročnost na údržbu je poměrně nízká. S rozvojem elektroniky a řízení se tyto technické disciplíny začaly propojovat a nyní hydraulika ve spojení s elektronikou a řízením umožňuje dosahovat dříve nemyslitelných, velice rychlých a přesných pohybů při zachování nenáročného provozu.

Článkem, který spojuje hydraulické a elektronické části jsou proporcionální a servo ventily. Přijímají elektrické signály a na jejich základě pak řídí tlak a průtok v hydraulických obvodech.

Servo ventily dosahují velice dobré dynamiky a přesnosti. Řízení rozdělovacího členu, šoupátka řídí servomotor. Řízení je zpětnovazební a zpětnou vazbou může být poloha šoupátka, tlak v systému, případně poloha řízeného aktuátoru. Nevýhodou servo ventilů je jejich vysoká cena a náročnost na čistotu hydraulické kapaliny.

Proporcionální ventily se liší v tom, že poloha šoupátka je nastavována elektromagnetem. Ventil může být vybaven zpětnou vazbou, kterou je poloha šoupátka. Jejich výhodou proti servo ventilům je příznivější cena a menší náročnost na čistotu hydraulické kapaliny, což je vykoupeno menší rychlostí a přesností. Rozdíl v rychlosti a přesnosti se v dnešní době pomalu smazává s rozvojem řízení.

Cílem této práce je navrhnout testovací jednotku proporcionálních ventilů, která bude sloužit především k usnadnění uvádění zařízení a provozů do chodu, k jednoduché diagnostice a bude využívána při údržbě a montáži. Součástí práce je také průzkum a studie již existujících testovacích jednotek. Ve spolupráci s firmou ŽDAS, a.s. budou zároveň zpracovány požadavky na prototyp testovací jednotky tak, aby jednotka odpovídala požadavkům na funkčnost a jednoduchou obsluhu při průmyslovém využití.



Obr. 1: Proporcionální ventil s integrovanou elektronikou a zpětnou vazbou [2]

2 Rozbor zadání a stanovení cíle řešení

Zadání bakalářské práce obsahuje tyto body:

- Studium dokumentace k proporcionálním ventilům a přehled požadovaných signálů I/O signálů pro jejich řízení. Zpracování požadavků na testovací jednotku.
- Realizace testovací jednotky v prostředí Matlab/Simulink a RT Toolbox s použitím karty MF624. Konzultace se zadavatelem (ŽĎAS).
- Návrh a výroba přenosné testovací jednotky založené na mikrokontroléru PIC. Tvorba SW pomocí nástrojů v Simulinku (RT Workshop, Kerhuel tbx.).
- Testování prototypu jednotky na ventilu dodaném zadavatelem.

Důležité je důkladně se seznámit s proporcionálními ventily, především nastudovat jejich řídicí signály a spojovací konektory. Zaměřit se přitom na ventily různých firem, aby testovací jednotka nebyla použitelná pouze pro výrobce jednoho typu ventilů.

Otázce realizace testovací jednotky s použitím I/O karty MF624 se budeme věnovat spíše okrajově. Je to z toho důvodu, že ventil nebude pravděpodobně trvale k dispozici a realizace testovací jednotky pomocí karty MF624 nemá smysl pro průmyslový provoz. Využití by mohlo být třeba pro laboratorní podmínky, při měření parametrů a stability řízení ventilu. Pokud bude ventil k dispozici můžeme se například pokusit odměřit frekvenční charakteristiku.

Plně se budeme věnovat návrhu prototypu testovací jednotky. Na testovací jednotku jsou stanoveny tyto požadavky:

- Jednotka bude umožňovat tyto řídicí signály: ± 10 V, 0..10 V, 0..20 mA, 4..20 mA.
- Možnost generovat tyto průběhy signálu:
 - **konstantní** – ovládání potenciometrem
 - **sinusový** – nastavení střední hodnoty, amplitudy a frekvence
 - **obdélníkový** – nastavení střední hodnoty, amplitudy a frekvence
 - **pilový** - nastavení střední hodnoty, amplitudy a frekvence
- Jednoduché a přehledné uživatelské rozhraní.
- Robustní konstrukce s dostatečným krytím pro průmyslové použití.
- Napájení ze sítě, případně akumulátorový provoz.

Požadavky na testovací jednotku jsou příliš rozsáhlé na to, abychom se hned pustili do finální konstrukce. Nejdříve bude nutné vytvořit prototyp, na kterém si ověříme jednotlivé funkční bloky a správnost koncepce. Tyto poznatky pak budou využity při návrhu finální verze.

3 Rešerše

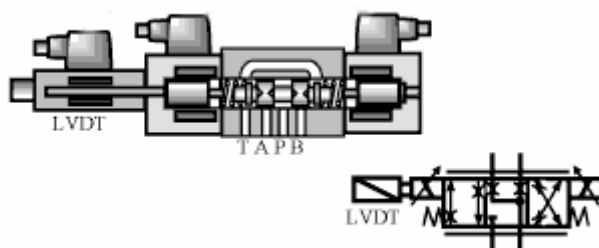
3.1. Proporcionální ventily

Proporcionální ventily jsou mezičlánkem mezi hydraulickými a elektronickými systémy. Umožňují spojitě regulovat tlak nebo průtok hydraulického systému na základě elektronického řídicího signálu. Proporcionální ventil se skládá z hydraulické části, která může zastávat různé funkce. Hlavní dělení je na:

- **Tlakové řídicí ventily:** odlehčovací a redukční ventily, nabízejí možnost regulovat tlak na základě řídicího signálu.
- **Čtyřcestné šoupátkové rozvaděče:** umožňují regulovat směr proudění a škrcení kapaliny proporcionálně k řídicímu signálu.
- **Ventily řízení průtoku:** dvou nebo třicestné, tlakově kompenzované, k řízení toku nezávisle na zátěži.

3.1.1 Akční člen

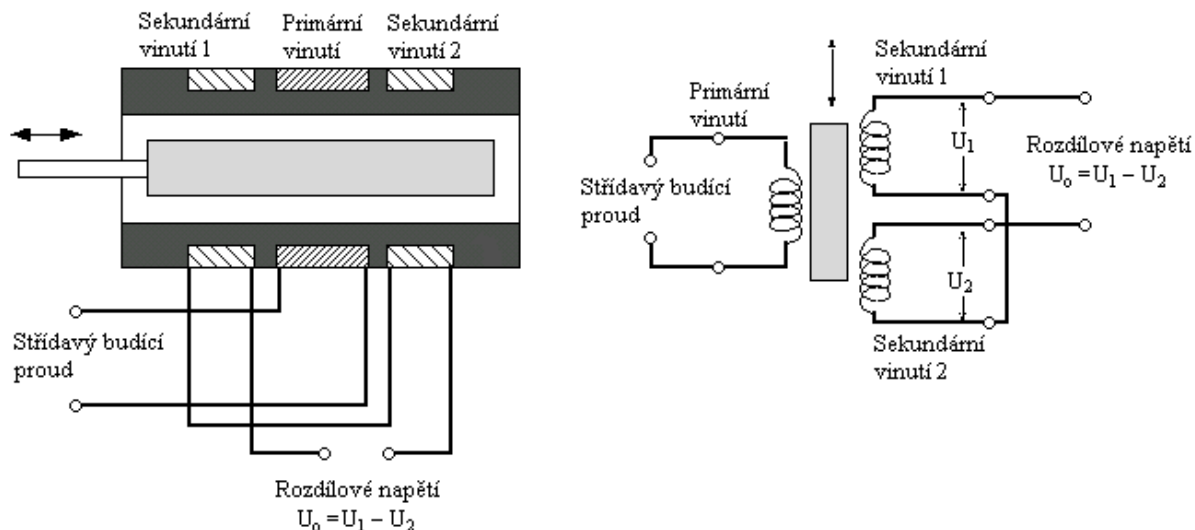
Akčním členem ventilu jsou jeden nebo dva solenoidy, které působí na hydraulickou část. V případě čtyřcestného šoupátkového rozvaděče je šoupátko uprostřed a na koncích jsou jádra, které zasahují do solenoidů. Při požadavku na vychýlení šoupátka se pustí elektrický proud do odpovídající cívky, která se snaží vtáhnout jádro do sebe. Velikost síly závisí na proudu procházejícím cívku. Šoupátko je drženo v neutrální poloze pružinami. Z toho vyplývá výhoda, že v případě poruchy, ztrátě napájení, zaujme šoupátko předem definovanou, bezpečnou polohu. Solenoidy se většinou konstruují tak, aby mohlo být napájecí napětí výkonového elektroniky 24 V stejnosměrných a maximální proud bývá 2 až 3 A. Přesné hodnoty najdeme v katalogových listech každého ventilu.



Obr. 2: Schéma proporcionalního šoupátkového rozvaděče [18]

3.1.2 Senzor

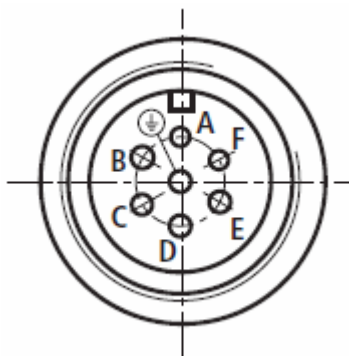
Senzorem, pokud je jím ventil vybaven, je diferenciální transformátor LVDT (linear variable differential transformer) sloužící k měření polohy. Obsahuje jedno primární vinutí a dvě sekundární vinutí vzájemně vázané pohyblivým feromagnetickým jádrem. Sekundární cívky jsou zapojeny sériově, ale opačnými konci k sobě. Primární vinutí je buzeno střídavým elektrickým proudem. V sekundárním vinutí se indukuje napětí přímo úměrné poloze jádra. Když je jádro uprostřed, v každé cívce se indukuje stejně velké napětí ale v protifázi. Tedy celková velikost napětí je nulová. V případě vychýlení jádra na jednu nebo druhou stranu je jedno napětí větší než druhé a celkový součet je nenulový. Velikost napětí odpovídá vzdálenosti od nulové polohy a z fáze se určí strana.



Obr. 3: Princip LVDT [19]

3.1.3 Elektronika

Ventily se dodávají ve dvou provedeních: s integrovanou elektronikou nebo bez ní. V případě integrované elektroniky tvoří ventil kompaktní celek, který sdružuje výkonovou a řídicí elektroniku s dostatečným krytím. Ventil může být řízen analogovým napěťovým nebo proudovým signálem, typicky ± 10 V nebo 4..20 mA. Objevují se i jiné hodnoty jako 0..10 V a 0..20 mA, ± 20 mA. Také může být k dispozici signál z polohového senzoru LVDT, který je již upraven a vyveden jako napěťový nebo proudový výstup. Propojení ventilu s okolím obstarává většinou jeden 6 + PE konektor podle normy DIN EN 175201-804 nebo DIN 43563, ještě se vyskytují konektory čtyř a jedenácti pinové. Dva kontakty slouží pro napájení ventilu, dva slouží pro vstupní signál a dva pro výstupní signál, pokud je k dispozici.



Obr. 4: Vstupní konektor 6 + PE [2]

Kontakt	Funkce
A	napájení (+24 V nebo + 15 V)
B	napájení (0 V nebo -15 V)
C	zem výstupního signálu nebo Enable
D	řídicí signál
E	zem řídicího signálu
F	výstupní signál
PE	ochranné uzemnění

Tab. 1: Popis kontaktů konektoru 6 + PE

Poslední dobou, kdy většinu řízení nad celým technologickým procesem obstarávají PLC automaty a mikrokontroléry, začíná se objevovat digitální komunikace s ventilem a její použití bude stále častější. Využívají se průmyslová rozhraní jako CANopen, RS-232, ProfiBus. Výhod digitální komunikace je mnoho. Netrpí problémy s rušením, odpadá potřeba AD a DA převodníků, na jednu komunikační linku může být připojeno více zařízení a mohou mezi sebou komunikovat.

V případě provedení bez integrované elektroniky obsahuje ventil jeden až tři konektory. Jeden pro každý solenoid a jeden pro senzor. Konektory se musí propojit s externím regulátorem, který sám ovládá solenoidy a snímá polohu senzoru. Výkonový stupeň pracuje v režimu PWM (pulsně šířková modulace).

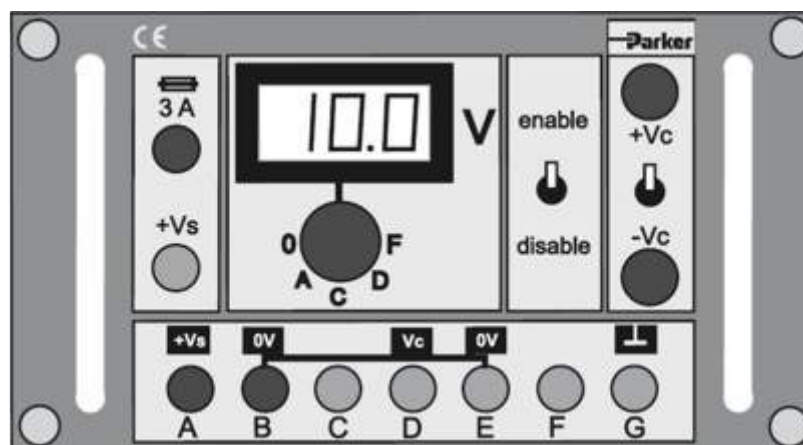
Nejznámějšími výrobci proporcionálních ventilů jsou firmy Bosch Rexroth, Moog, Parker, ARGO-HYTOS.

3.2. Existující testovací jednotky

Testovací jednotky usnadňují uvedení systému do provozu, umožňují provádět funkční testy a jednoduchou diagnostiku. Dělí se na testovací jednotky pro ventily s integrovanou elektronikou a pro ventily bez integrované elektroniky. My se zabýváme testovacími jednotkami pro ventily s integrovanou elektronikou, které jsou mnohem jednodušší a lehčí, neobsahují výkonovou elektroniku. Pro přehled zde uvedeme pár testovacích jednotek pro ventily s integrovanou elektronikou.

3.2.1 Parker EX-M03

Testovací jednotka pro proporcionální ventily s integrovanou elektronikou od firmy Parker Hannifin GmbH. Tvoří ji robustní pouzdro s rukojeťmi o rozměrech 220x120x90. Jednotka je určena pro napájení ze sítě 115/230 V, 50-60 Hz. Pro připojení ventilu je vybavena zásuvkou podle normy DIN 40 040 a dodávána s kabelem, na jehož jednom konci je zástrčka do tohoto konektoru a na druhém konci je konektor pro ventil 6 + PE podle DIN 43 563. Jednotka má na přední straně vyvedeny testovací přípojky jednotlivých kontaktů a je vybavena segmentovým displejem, na kterém si můžeme zobrazit napětí na jednotlivých linkách. Řídicí signál je pouze napěťový ± 10 V.



Obr. 5: Parker EX-M03 [5]

3.2.2 Bosch Rexroth VT-VETSY-1

Testovací jednotka od firmy Bosch Rexroth AG. Proti testovací jednotce firmy Parker je kompaktnější. Obsahuje tři konektory. Jeden pro připojení k řídicímu obvodu, druhý slouží pro připojení k ventilu, oba jsou typu 6 + PE. Posledním BNC konektorem se může připojit externí řídicí signál. Jednotka je uzpůsobena tak, aby se mohla připojit mezi ventil a řídicí obvod a podle potřeby volit interní nebo externí provoz (jestli bude ventil ovládat testovací jednotka nebo původní řídicí obvod). Jednotka si bere napájení z konektoru řídicího obvodu. Pokud není řídicí obvod dostupný, napájí se jednotka ze síťového adaptéru +24 V nebo ± 15 V s konektorem stejný jako má řídicí obvod. Řídicí signál může být napěťový ± 10 V nebo proudový ± 20 mA, nastavuje se otočným ovladačem. Není zde přímá možnost sledovat přesnou hodnotu signálu. Může se využít propojek, které jsou na vrchní straně a propojují jednotlivé linky. Je nutné použít externí voltmetr nebo ampérmetr, který se zapojí místo propojky.



Obr. 6: Bosch Rexroth VT-VETSY-1 [6]

3.2.3 Dietz ValveExpert Checker

Testovací jednotka od firmy DIETZ automation GmbH pro proporcionální a servo ventily s integrovanou elektronikou. Koncepčně se podobá jednotce od firmy Bosch Rexroth. Umožňuje interní a externí provoz, ale navíc má dva segmentové displeje pro zobrazení hodnoty řídicího a zpětnovazebního signálu. Jednotka umí tyto řídicí signály: 0..20 mA, ± 10 V, ± 10 mA, nastavované otočným ovladačem.



Obr. 7: Dietz ValveExpert Checker [7]

4 Závěr

Hlavním úkolem bylo navrhnout a sestrojít přenosnou testovací jednotku proporčních ventilů. Při zadání této práce nám z problematiky proporčních ventilů nebylo nic známo. Postupně jsme se s ní seznamovali a úkol se ukázal jako značně komplikovaný. Sestrojít funkční zařízení využitelné v průmyslovém provozu není snadná záležitost.

Začali jsme od základů, sestavili jsme nejdůležitější funkční bloky a až na pár drobných problémů, které jsme v průběhu vývoje odstranili, veškeré obvody fungují. Při psaní obslužného programu byly překonány hlavní překážky, kterými byla obsluha displeje a DAC. Vývoj testovací jednotky je nyní ve fázi, kdy se může jednotka propojit s ventilem, ovládat ho pomocí voleného konstantního napěťového nebo proudového signálu a zobrazovat hodnotu signálu snímače polohy šoupátka.

Při konzultaci s firmou ŽĎAS vyplynulo, že vývoj se dosud ubíral správným směrem a testovací jednotka by mohla být velkým pomocníkem. Vývoj zařízení tedy může dále pokračovat.

Z hlediska elektroniky je třeba vyřešit přepínání jednotlivých signálů z převodníků. Toto bude vyřešeno pravděpodobně pomocí relé, pro jejichž spínání máme na μC rezervováno šest digitální I/O pinů. Pro připojení ventilů je třeba zvolit vhodné konektory. Na zadním panelu testovací jednotky by mohly být jednotlivé konektorové zásuvky a ventil by se vždy pomocí kabelu připojil do té odpovídající. Velká otázka je spojena s napájením celého zařízení. Značnou výhodou by byl provoz nezávislý na síti, akumulátorový. Je třeba počítat s tím, že provoz testovací jednotky vyžaduje tři úrovně napájecího napětí: +24 V (max. 3 A) pro napájení ventilu, +5 V (300 mA) pro μC , displej a ± 15 V (60 mA) pro napájení převodníků. Je vhodné, aby napájení ventilu a řídicí elektroniky bylo galvanicky odděleno. S ohledem na tyto požadavky je třeba zvolit vhodný typ a napětí akumulátoru a použití převodníků napětí.

Program se neustále může vyvíjet a přinášet vylepšení. K ovládaní budou sloužit tlačítka, kterými se budou přepínat funkce a rozsahy. Nastavování hodnot a parametrů testovacích signálů se bude provádět potenciometry. Námí použitý μC dsPIC33FJ128MC představuje dostatečnou výkonovou rezervu a tak by v budoucnu mohly být vytvořeny i testovací funkce spíše laboratorního charakteru, jako zjištění frekvenční charakteristiky, odezvy na signál apod.

Během stavby jsme získali cenné poznatky ze spojení analogové elektroniky a digitálního ovládání. Především konstrukce analogové části není tak jednoduchá, jak se na první pohled zdá. Vyžaduje od konstruktéra jisté zkušenosti, aby věděl, co si počít s případným rušením a kmitáním, které se v digitální elektronice tolik nevyskytuje. My jsme tyto zkušenosti teprve získávali a uplatníme je při úplném dokončení testovací jednotky.

5 Použité zkratky

μC	<i>microcontroller</i>	<i>mikrokontrolér</i>
PWM	<i>pulse-width modulation</i>	<i>pulsně šířková modulace</i>
PE	<i>protective earth</i>	<i>ochranný vodič</i>
LVDT	<i>linear variable differential transformer</i>	<i>diferenciální transformátor</i>
AD	<i>analog-to-digital</i>	<i>analogově digitální</i>
DA	<i>digital-to-analog</i>	<i>digitálně analogový</i>
ADC	<i>analog-to-digital converter</i>	<i>analogově digitální převodník</i>
DAC	<i>digital-to-analog converter</i>	<i>digitálně analogový převodník</i>
DPS		<i>deska plošných spojů</i>
FIR	<i>finite impulse response</i>	<i>filtr s konečnou impulsní odezvou</i>
LCD	<i>liquid crystal display</i>	<i>displej z tekutých krystalů</i>
I/O	<i>input/output</i>	<i>vstupně/výstupní</i>
NOP	<i>no operation</i>	<i>instrukce prázdná operace</i>
LED	<i>light-emitting diode</i>	<i>dioda emitující světlo</i>
CAN	<i>controlle- area network</i>	<i>komunikační sběrnice</i>
RS-232	<i>Recommended Standard 232</i>	<i>sériové komunikační rozhraní</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>	<i>sériová komunikační sběrnice</i>
UART	<i>universal asynchronous receiver/transmitter</i>	<i>asynchronní sériové rozhraní</i>
PCI	<i>Peripheral Component Interconnect</i>	<i>sběrnice základní desky</i>

6 Použité zdroje a literatura

- [1] *Proporcionální řízení: průvodce pro uživatele* [online, pdf]. Hykom, s.r.o.. [cit. 9.1.2011].
Dostupné z: <www.hykom.cz/getdoc.php?id=40&filename=f001.pdf>.
- [2] Katalogy proporcionálních ventilů. Bosch Rexroth AG
Dostupné z: <<http://www.boschrexroth.com>>.
- [3] Katalogy proporcionálních ventilů. Moog Inc., Industrial Controls
Dostupné z: <<http://www.moog.com/worldwide/>>.
- [4] Katalogy proporcionálních ventilů. Parker Hannifin GmbH
Dostupné z: <<http://www.parker.com>>.
- [5] EX-M03, *Test Unit for Proportional Valves with Integrated Electronics*. Parker Hannifin GmbH. Datasheet [cit. 8.5.2011].
Dostupné z: <http://www.parker.com/literature/Hydraulic%20Controls%20Europe/HY11-3500UK/C11/EXM03_UK.pdf>.
- [6] VT-VETSY-1, *Service case with test unit for servo and proportional valves with integral electronics*. Bosch Rexroth AG. Datasheet [cit. 8.5.2011].
Dostupné z: <http://www.boschrexroth.com/RDSearch/rd/r_29685/re29685_2011-03.pdf>.
- [7] *ValveExpert Checker*. DIETZ automation GmbH. Datasheet [cit. 9.5.2011].
Dostupné z: <<http://dietzautomation.com/download/User%20Manual%20Checker%20-%20English.pdf>>.
- [8] Vorel P., Patočka M.: *Průmyslová elektronika*. Elektronické skriptum. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. 2007.
- [9] Vejlupek, J.: *Vývoj elektroniky pro řízení trakce experimentálního vozidla*. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2010.
- [10] Brent Brown. *Analog Output with jumper settings for voltage and current ranges* [online]. datum revize 24.6.2010 [cit. 2.3.2011].
Dostupné z: <<http://www.piclist.com/techref/microchip/aout.htm>>.
- [11] HW server, *Intelligentní displeje a jejich připojení k PC* [online]. Publikováno 17.2.2000, [cit. 22.3.2011].
Dostupné z: <http://hw.cz/docs/lcd_iq_displaye/lcd_iq_dip.html>.
- [12] Joshua Galloway, *HD44780 Controlled LCD* [online]. [cit. 13.4.2011].
Dostupné z: <<http://joshuagalloway.com/lcd.html>>.
- [13] PIClist server, *PIC Microcontroller LCD Display IO routines* [online]. Datum revize 22.4.2011 [cit. 13.3.2011].
Dostupné z: <<http://www.piclist.com/techref/io/lcd/pic.htm>>.
- [14] HD44780U, *Dot matrix LCD driver*. Datasheet, revize 0.0.
Dostupné z: <<http://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>>.

- [15] dsPIC33FJ128MC, *High-Performance, 16-bit Digital Signal Controller*. Datasheet, datum revize 17.1.2011.
Dostupné z: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70291E.pdf>>.
- [16] *Audio Digital-to-Analog Converter*. Referenční manuál, revize B (září 2009).
Dostupné z: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70211B.pdf>>.
- [17] *Audio Digital-to-Analog Converter*. Referenční manuál, revize A (říjen 2007).
Dostupné z: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70211A.pdf>>.
- [18] *Proportional and servovalves: Infinitely variable directional control valves* [online].
[cit. 2.2.2011].
Dostupné z: <<http://www.hydraulicspneumatics.com/200/eBooks/Article/True/45672/>>.
- [19] *Note on LVDTs* [online]. Department of Mechanical Engineering, The University of Texas at Austin. Datum revize 30.3.2000 [cit. 12.4.2011].
Dostupné z: <<http://www.me.utexas.edu/~dsclab/labs/forcemotion/lvdt.html>>.
- [20] PRL1, *Rychlé proporcionální rozvaděče s lineárním motorem*. ARGO-HYTOS a.s.. Datasheet, datum revize leden 2002.
- [21] EL 2, *Elektronické jednotky pro řízení PRL1 a PRL2*. ARGO-HYTOS a.s.. Datasheet, datum revize únor 1999.
- [22] Mechláb, *Mechatronics laboratory* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Květen 2011.
Dostupné z: <<http://www.umt.fme.vutbr.cz/mechláb>>.