

Studentská tvůrčí a odborná činnost
STOČ 2012

EMBEDDED ŘÍDICÍ SYSTÉM HYDRAULICKÉHO POHONU

Michal SZYMECZEK

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

17. listopadu 15

708 33 Ostrava – Poruba

26. dubna 2012
VŠB-TU Ostrava

Klíčová slova: Algoritmus řízení, embedded, řídicí systém, hydraulický pohon.

Anotace: Diplomová práce se zabývá návrhem řídicího systému pro hydraulické pohony. Jako řídicí systém byl vybrán jednodeskový vestavěný (embedded) počítač Athena II SBC od firmy Diamond Systems vhodný pro umístění do náročných průmyslových podmínek. Řídicí systém byl použit pro řízení pásových pil na řezání kovu. Pro návrh, a zejména ověření, řídicích algoritmů byla použita metoda simulace Hardware in the Loop. Pro tuto metodu bylo nutno sestavit matematický model, včetně zjednodušeného popisu řezání. Řídicí algoritmy, navržené pomocí metody HiL, byly ověřeny v laboratorních podmínkách se snahou o maximální shodu sestaveného hydraulického obvodu se skutečným obvodem pásové pily na řezání kovu.

Annotation: The diploma thesis deal with the design of control system for hydraulic drives. Single-board embedded microcomputer Athena II SBC from Diamond Systems was chosen as a control system suitable for difficult industrial conditions. The control system was used to control a band saw for metal cutting. The Hardware in the Loop simulation was used for design and verification of control algorithm. It was necessary to create a mathematical model and simplified cutting description for this method. The control algorithms, designed by the use of the method HiL, were verified in laboratory conditions. The goal was to create a maximal equivalence of the constructed hydraulic circuit with a real circuit of a band saw for metal cutting.

Obsah

1.	Pásové pily na řezání kovu	3
1.1	Hydraulický pohon.....	3
1.2	Model hydraulického pohonu	4
2.	Embedded řídicí systém.....	5
3.	Athena II SBC.....	5
3.1	Tvorba obrazu OS.....	7
3.2	Programování řídicího systému	7
3.3	Použití knihoven pro AD a DA převodník	7
4.	Návrh řídicího algoritmu.....	8
4.1	HiL simulace.....	9
4.2	Ověření řídicího algoritmu.....	9
5.	Závěr	10
	Literatura	10

1. Pásové pily na řezání kovu

Diplomová práce se zabývá rozbohem konkrétní aplikace hydraulických pohonů a také návrhem řídicího algoritmu. Aplikací, pro kterou bude návrh proveden, jsou pásové pily na řezání kovu. Jedná se o stroje využívající k činnosti hydraulické přímočaré pohony. Nejčastěji se hydraulickým pohonem řídí posun pilového pásu do řezaného materiálu a přidržení (fixace) řezaného materiálu během řezného procesu. U komplexnějších (automatizovaných) pásových pil lze hydraulické pohony nalézt rovněž v zařízeních automatické manipulace s řezaným materiálem. Pásové pily se vyrábí ve dvou základních provedeních (lišících se vedením ramene, které umožňuje pohyb pilového pásu):

- s vertikálním vedením ramene,
- s otočným ramenem.

U pásových pil s otočným ramenem nemusí být použit rotační pohon. I u tohoto typu jsou použity lineární hydromotory a rotační pohyb ramene je zajištěn konstrukčním uspořádáním.

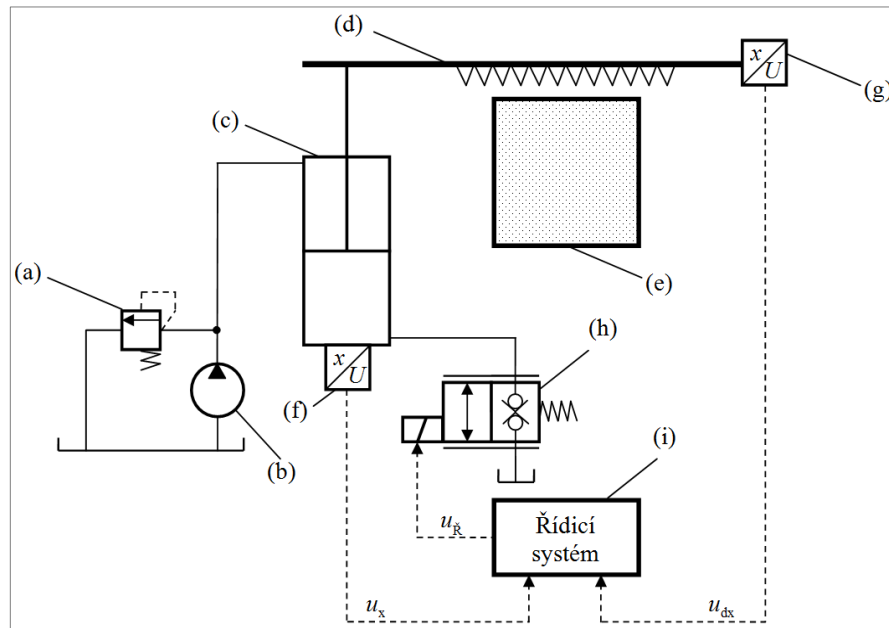
Místo pilové pásu lze na řezání materiálu použít i kotoučovou pilu. Touto konstrukcí se však tato práce zabývat nebude.

Pásovými pilami na řezání kovu lze dělit materiály kruhového, čtvercového i obdélníkového tvaru, a to jak materiály plné, tak i duté (trubky, profily apod.). Výrobou pásových pil na řezání kovu se zabývají např. firmy BOMAR, PMS, PILOUS, TMJ, STARRET, OPTIMUM QUANTUM, PROMA-PPK a další. U různých výrobců lze samozřejmě nalézt pásové pily různé ceny. Ta je závislá na stupni automatizace dané pily, dále pak na přesnosti, řezném rozsahu, velikosti řezaného materiálu a dalších parametrech.

1.1 Hydraulický pohon

Pásové pily využívají hydraulické pohony pro různé činnosti. K samotnému řízení řezné rychlosti bývá velmi často využíván proporcionální škrticí ventil. Schéma hydraulického obvodu pásové pily pro fázi řezání je zobrazeno na obrázku 1.

Pásová pila je vybavena snímačem polohy (f) a také snímačem stlačení (g) pilového pásu vedeného v rameni (d). Jedna komora hydromotoru (c) je předepnuta na konstantní tlak, který zajišťuje hydrogenerátor (b) a pojistný ventil (a). Průtok kapaliny z druhé komory je řízen proporcionálním ventilem (h) ovládaným napětím ($0 \div 5$ V nebo $0 \div 10$ V). Řídicí systém (i) na základě údajů ze snímačů (signály u_x o poloze pístnice a u_{dx} o stlačení pilového pásu) vypočítává akční zásah, kterým je napětí na škrticí proporcionální ventil u_R . Na základě řídicího algoritmu je řízena rychlost řezání materiálu (e).



Obrázek 1 Schéma prvků pásové pily

1.2 Model hydraulického pohonu

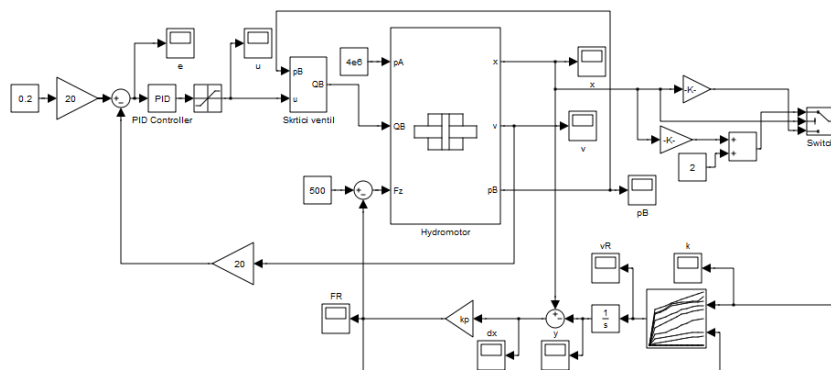
Pro vytvoření modelu hydraulického pohonu bude použit model hydromotoru popsáný v [1]. Proporcionální škrticí ventil je popsán pomocí škrcení průtoku přes hranu rovnicí

$$Q = B \cdot (x_{SV} + x_{SV0}) \cdot \sqrt{p_B} \quad (1)$$

kde B ...průtokový součinitel, x_{SV} ...poloha šoupátka škrticího ventilu, x_{SV0} ...krytí škrticího ventilu, p_B ...tlak v komoře hydromotoru. Odvození rovnice (1) popsáno rovněž v [1]. Dynamické vlastnosti škrticího ventilu budou popsány přenosem proporcionálního členu se setrvačností druhého řádu

$$G_{SV}(s) = \frac{K_{SV}}{T_{SV}^2 s^2 + 2\xi_{SV} T_{SV} s + 1} \quad (2)$$

Výsledný matematický model pásové pily sestavený v prostředí SIMULINK, v kterém je řezná rychlost vybírána z tabulky na základě řezné síly a počtu zubů v záběru, je zobrazen na obrázku 2.



Obrázek 2 Model pásové pily

2. Embedded řídicí systém

Řídicí systém, který označíme jako vestavěný (anglicky *embedded*), je jednoúčelový systém, který je kompletně zabudován do zařízení či stroje, jenž řídí. Rozdíl mezi vestavěným řídicím systémem a osobním počítačem je v tom, že vestavěný řídicí systém je často jednoúčelový, vyrobený pro určitou konkrétní činnost, z čehož plyne možnost optimalizovat systém již při návrhu pro danou aplikaci. Touto optimalizací lze snížit cenu konečného produktu. Další úspor lze dosáhnout velkým počtem vyráběných kusů, jelikož vestavěné systémy se často vyrábějí sériově. Rozdíl mezi vestavěnými zařízeními a počítači pro osobní použití se dnes již značně rozplývá, jelikož jako vestavěná zařízení jsou označována i různé PDA, inteligentní mobilní telefony (smartphone) apod. Hardware těchto zařízení lze označit jako vestavěný, ovšem software je zde použit všeobecný, podobně jako v osobním počítači. [2].

Vestavěné řídicí systémy se samozřejmě používají i v průmyslových aplikacích, např. v [2] jsou uvedeny tyto konkrétní aplikace:

- palivový řídicí systém, který monitoruje a řídí tok paliva do proudového motoru,
- inteligentní telefon přijímající rádiové signály z kouřových detektorů, snímačů pohybu, různých bezpečnostních snímačů, a předávající je centrální monitorovací stanici, která řeší případné mimořádné situace,
- stanovení přesné geografické polohy na Zemi měřením času mezi vysláním a přijetím rádiového signálu (ze satelitu),
- odbavovací systém sloužící k monitorování a kontrole vstupu, který je založen na paměťové kartě obsahující magnetický proužek,
- systém, který měří a kontroluje proces leptání, a zároveň odstraňuje nežádoucí části materiálu z povrchu integrovaného obvodu během výroby,
- systém řídicí vytápění a větrání vzduchu v budově (nebo více budovách) mající za úkol dosáhnout minimální spotřebu elektrické energie,
- pás měřící srdeční tep člověka, který signalizuje překročení bezpečného (předem zvoleného) limitu a pomocí rádiového signálu jej předává do mikrokontroléru.

Výše uvedený výčet jasně dokazuje, že použití vestavěných systémů je skutečně velmi široké a rozmanité.

3. Athena II SBC

Po zvážení všech požadavků byl vybrán řídicí systém Athena II SBC od firmy Diamond Systems [3]. Athena II SBC obsahuje kombinovaný nízko výkonový a vysoce integrovaný VIA Mark procesor s pamětí přímo na čipu, integrovaný obvod pro sběr dat (16 b), vestavěnou 256MB paměť RAM, AC97 audio konektor, 4 USB porty, 4 sériové porty (RS232) a další periferie. Řídicí systém Athena II SBC je postaven na architektuře PC/104, má rozměry 106 x 144 mm, rozšířený teplotní rozsah, tyto vlastnosti z něj dělají kompletní embedded systém pro náročné aplikace. Na obrázku 3 je zobrazen řídicí systém Athena, výběr jeho vlastností je v tabulce 1.



Obrázek 3 Řídicí systém Athena II SBC [3]

Tabulka 1 Vybrané vlastnosti řídicího systému Athena II SBC

Procesor	VIA Mark, nízko-výkonový Pentium III
Frekvence	500 MHz nebo 800 MHz
Spotřeba	10 W
Paměť	256 MB
Ethernet	10/100 Mbps
Sériové rozhraní	4x RS-232
Paralelní rozhraní	SPP, EPP
USB rozhraní	4x, verze 1.1
Analogové vstupy	16x unipolární (single-ended) / 8x bipolární (differential)
A/D převodník	16 b, max. 100 kHz
Vstupní rozsahy	$\pm 10V$, $\pm 5V$, $\pm 2,5V$, $\pm 1,25V$, $0 \div 10V$, $0 \div 5V$, $0 \div 2,5V$, $0 \div 1,25V$
Analogové výstupy	4x, 12b D/A převodník
Výstupní rozsahy	$\pm 10V$, $\pm 5V$, $0 \div 10V$, $0 \div 5V$
Vstupní impedance	$10^{13} \Omega$
Digitální I/O	24 digitálních vstupů/výstupů, 2 čítače/časovače
Napájení	+5VDC $\pm 5\%$, 2A
MTBF	>165705 h
Podporované OS	Linux, Windows XP, Windows Embedded Standard, QNX, DOS

3.1 Tvorba obrazu OS

Řídicí systému používá operační systém (dále jen OS) Microsoft Windows XP Embedded. Základní informace o tomto OS lze nalézt na stránkách [4]. Vlastnosti a výhody, pro které je tento OS vhodný k řízení jsou popsány rovněž v článku [5]. Shrňme nyní vlastnosti OS Windows Embedded. Jedná se o OS určené pro specializovaná zařízení či zařízení jednoduše. Za jednu z největších výhod autor považuje 100% kompatibilitu se všemi aplikacemi a ovladači Windows. Komponenty tohoto OS zcela vycházejí z klasických Windows, což umožňuje použít pro vývoj řídicích algoritmů libovolný dostupný programovací nástroj. Všechny komponenty jsou navíc určeny pro běh na „malém“ systému s polovodičovým diskem [5], což je jistě další nesporná výhoda pro embedded aplikace.

3.2 Programování řídicího systému

Řídicí systém Athena II SBC je programován v jazyce C. Výrobce k řídicímu systému dodává ovladače pro operační systémy DOS, Linux, QNX, Windows CE a Windows XP. Ovladače v aktuální verzi, stejně jako dokumentaci k řídicímu systému, lze stáhnout ze stránek výrobce [3]. Ovladače obsahují knihovnu potřebnou pro programování AD a DA převodníků (včetně jejich autokalibrace), obvodu Watch dog, a funkcí pro čítače, časovače a uživatelské přerušení. Dokumentaci k ovladačům lze nalézt rovněž na stránkách výrobce. Zde je možno ji stáhnout, nebo dále prohlížet kliknutím na jednotlivé odkazy, dokumenty jsou ve formátu html. U jednotlivých funkcí jsou uvedeny i příklady.

Pro programování řídicího systému byl použit software Microsoft Visual Studio 2005. Program byl vytvářen v rámci projektů Visual C++ (Win32 Console Application). Ovladače dodávané výrobcem obsahují 3 typy souborů s příponami lib, dll a h (název všech souborů je dscud). Soubor s příponou lib musíme v našem projektu přidat do složky *Resource Files* (klikneme pravým tlačítkem na složku a zvolíme *Add – Existing Item...*). Hlavičkový soubor s příponou h musíme nakopírovat do odpovídající složky (pokud si projekt pojmenujeme např. „regulator“, tak do složky *regulator/regulator*). V této složce jsou umístěny i ostatní používané hlavičkové soubory. Poslední soubor, dynamickou knihovnu s příponou dll nakopírujeme přímo na cílové zařízení do složky, v které bude umístěn i spustitelný soubor.

Velmi důležitým nastavením, které musíme provést, je volba správné provozní knihovny. Toto nastavení provedeme v menu *Project – Properties* (před tímto slovem je ještě uveden název projektu). Zde vybereme *Configuration Properties – C/C++ – Code Generation*. V tomto okně v položce *Runtime Library* nastavíme místo výchozího nastavení *Multi-threaded Debug DLL (/MDd)* položku *Multi-threaded Debug (/MTd)*. Bez tohoto nastavení by nebylo možné spouštět vygenerovaný spustitelný soubor na zařízeních bez nainstalovaného prostředí .NET.

3.3 Použití knihoven pro AD a DA převodník

Pro ukázkou si na tomto místě popíšeme funkci pro převod digitálního čísla na analogový výstup. Pro tuto operaci se používá funkce s názvem *dscDAConvert*, jejímiž parametry jsou proměnné typu *DSCB* (handle odkazující se na desku), *BYTE* (proměnná pro vybraný DA kanál) a *DSCDACODE* (proměnná pro digitální číslo, které chceme převést na analogový výstup). Příklad převedení čísla 4095 (digitální čísla se zadávají z rozsahu 0-4095, to proto, že DA převodník je 12b) na analogový výstup č. 0 demonstruje obrázek 4.

```
DSCB dscb;  
BYTE channel;  
DSCDACODE output_code;  
...  
channel = 0;  
output_code = 4095;  
if ((result = dscDAConvert(dscb, channel, output_code)) != DE_NONE)  
    return result;
```

Obrázek 4 Příklad převedení digitálního čísla na analogový výstup

Před samotným použitím je nutno oba převodníky nastavit. Nastavení si ukážeme u AD převodníku, kde je názornější. Pro nastavení se používá funkce dscADSettings. Ta má dva parametry, a to typu DSCB a DSCADSETTINGS (jedná se o strukturu, jejíž jednotlivé prvky jsou typu BYTE). Struktura DSCADSETTINGS obsahuje kromě jiných následující prvky:

- current_channel (kanál vybraný pro AD převod),
- gain (zesílení použité při AD převodu, pro zesílení 1 zapíšeme hodnotu 0, pro zesílení 2 hodnotu 1, pro zesílení 4 hodnotu 2, a pro zesílení 8 hodnotu 3),
- polarity (rozsah použitý při AD převodu, 0 pro bipolární, 1 pro unipolární),
- load_cal (tato proměnná určuje, zda bude načteno nastavení z paměti EEPROM – hodnota 1, nebo zda bude zapsáno uživatelsky provedené nastavení – hodnota 0).

Ve výše uvedeném výčtu nejsou vypsány všechny prvky, ale jen ty, které byly používány. Prvky struktury, které nejsou nijak nastaveny, zůstanou na výchozí hodnotě. Zapsání nastavení AD převodníku je zobrazeno na obrázku 5.

```
DSCB dscb;  
DSCADSETTINGS dscadsettings;  
...  
dscadsettings.polarity = 0;  
dscadsettings.gain = 0;  
dscadsettings.load_cal = 0;  
dscadsettings.current_channel = 0;  
if ((result = dscADSetSettings (dscb, &dscadsettings)) != DE_NONE)  
    return result;
```

Obrázek 5 Zapsání nastavení pro AD převodník

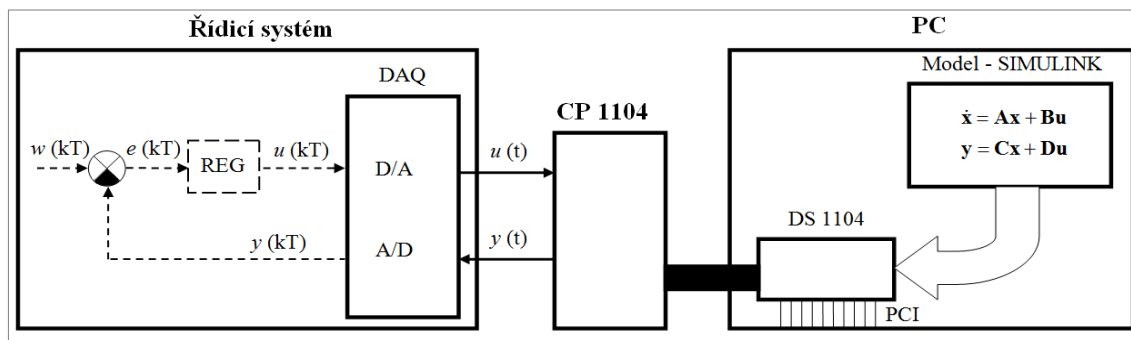
4. Návrh řídicího algoritmu

Řízenou soustavou je v případě řízení rychlosti hydromotoru soustava skládající se ze dvou proporčních členů se setrvačností druhého řádu. Abychom zajistili nulovou trvalou regulační odchylku, musíme použít regulátor s integrační složkou. Pokud řídíme polohu hydromotoru, je integrační člen obsažen v řízené soustavě. K návrhu a seřízení regulátorů byly použity zejména experimentální metody popsané v [6]. Nejlepší výsledky byly získány metodou překmitu a metodou čtvrtinového tlumení. U metody kritických parametrů (Ziegler-Nichols) a čtvrtinového tlumení byl na přechodové charakteristiky příliš velký překmit.

Metodou požadovaného modelu pak byl seřízen PID regulátor pro regulaci rychlosti, přičemž model soustavy byl uvažován pouze 2. řádu. Do výpočtu byla dosazena pomalejší časová konstanta (škrticího ventilu), rychlejší časová konstanta (hydromotoru) byla zanedbána.

4.1 HiL simulace

Před testováním na reálném zařízení byly řídicí algoritmy vyzkoušeny v rámci HiL simulace, princip této simulace je názorný z obrázku 6. Navíc model řízené soustavy sestavený v prostředí SIMULINK lze použít i při návrhu řídicích algoritmů experimentální metodou.

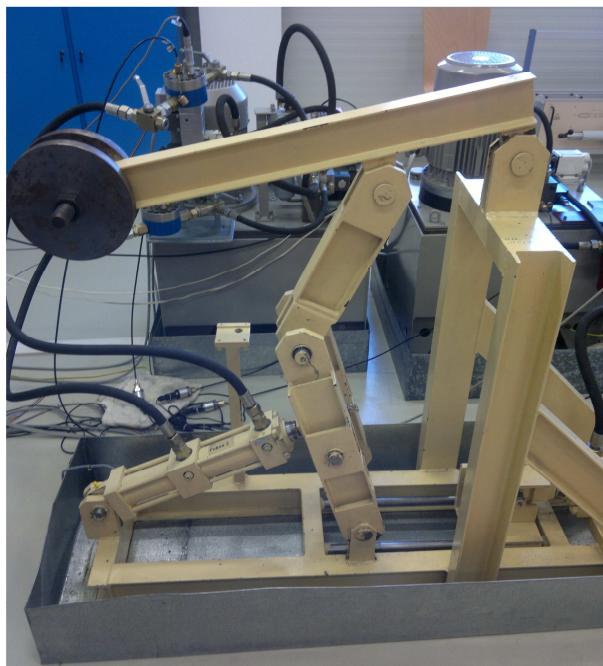


Obrázek 6 Simulace Hardware in the Loop

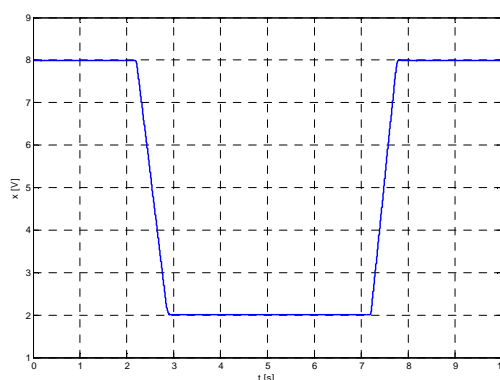
4.2 Ověření řídicího algoritmu

Navržené řídicí algoritmy (pro polohovou regulaci) byly ověřeny na elektrohydraulickém výukovém stendu (obrázek 7) Katedry automatizační techniky a řízení VŠB-TU Ostrava, který je umístěn v budově CPIT v Ostravě Porubě. Na obrázku č. 8 je zobrazen průběh polohy pístnice hydromotoru, žádaná hodnota byla periodicky měněna ze 2 V na 8 V (snímač polohy má rozsah 0÷10 V). Jelikož byl údaj o poloze hydromotoru značně zašuměný, bylo nutné použít filtr typu dolní propust (RC článek) s časovou konstantou

$$\tau = R \cdot C = 4,7 \cdot 10^3 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} = 10,34 \text{ ms.} \quad (3)$$



Obrázek 7 Elektrohydraulický výukový stend



Obrázek 8 Průběh polohy naměřený na elektrohydraulickém výukovém stendu

5. Závěr

Příspěvek stručně seznamuje s činnostmi vykonanými v rámci diplomové práce. Stěžejním bodem práce byl výběr embedded řídicího systému a jeho následné uvedení do provozu. K programování řídicího systému jsou použity výrobcem dodávané knihovny, programovacím jazykem je jazyk C. V tomto jazyce byl vytvořen jednoduchý řídicí program umožňující měnit typ regulátoru, jeho stavitelné parametry a volit vzorkovací periodu výpočtu. Před připojením řídicího algoritmu ke skutečnému zařízení (elektrohydraulický stand) byla funkčnost řídicích algoritmů ověřena pomocí simulace hardware in the loop (HiL).

Při regulaci polohy hydromotoru stačí použít regulátor typu P, ovšem při rychlostní regulaci musíme využít regulátor s integrační složkou. S regulátorem typu PI byl na přechodové charakteristice znatelný malý překmit. Ten byl odstraněn použitím regulátoru typu PID.

Vybraný řídicí systém Athena II SBC splňuje všechny nároky pro umístění do náročného průmyslového prostředí. Po naprogramování jej lze umístit do odolné krabice, která jej chrání před nepříznivými okolními vlivy. K řídicímu systému pak můžeme přistupovat přes nadřazený řídicí systém. V rámci diplomové práce byla využita možnost přístupu k řídicímu systému pomocí vzdálené plochy (Windows XP Embedded jej podporuje). Dostatečný výpočetní výkon umožňuje použití řídicího systému i pro složitější řídicí algoritmy, např. pro stavové řízení (s pozorovatelem stavu), synchronizaci pohybu více hydromotorů apod.

Literatura

- [1] NOSKIEVIČ, P. *Modelování a identifikace systémů*. 2. vyd. Ostrava: MONTANEX a.s., 1999, 280 s. ISBN 80-7225-030-2.
- [2] ARNOLD, K. *Embedded controller hardware design*. Eagle Rock: LLH Technology Publishing, 2000, 232 p. ISBN 1-878707-87-6.
- [3] Athena II SBC. *Diamond Systems* [online]. 2012 [cit. 2012-04-24]. Available from: <<http://www.diamondsystems.com/products/athenaii>>.
- [4] What is Windows Embedded?. *Microsoft* [online]. 2012 [cit. 2012-03-16]. Available from: <<http://www.microsoft.com/windowseembedded/en-us/evaluate/what-is-windows-embedded.aspx>>.
- [5] BEDNÁŘ, R. MS Windows XP Embedded: řešení pro vestavná zařízení. *Automa*. 2002, č. 12. ISSN 1210-9592. Available from: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28632>.
- [6] VÍTEČEK, A. a M. VÍTEČKOVÁ. 2011. *Vybrané metody seřizování regulátorů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2503-8.