

# Riadiaci systém pohonov hydraulického manipulátora

## Control System of Hydraulic Manipulator Drives

František Ďurovský<sup>1</sup>, Róbert Üveges<sup>2</sup><sup>1</sup>[frantisek.durovsky@tuke.sk](mailto:frantisek.durovsky@tuke.sk), <sup>2</sup>[robert.uveges@ztsvvu.eu](mailto:robert.uveges@ztsvvu.eu)<sup>1</sup>Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, Košice, Slovenská Republika<sup>2</sup>ZTS – Výskumno-Vývojový Ústav, Divízia elektronické systémy, Južná trieda 95, Košice, Slovenská Republika

**Abstrakt**—Tento príspevok sa zaoberá návrhom a implementáciou regulačnej štruktúry hydraulických pohonov, určených na presné polohovanie pre aplikáciu v hydraulickom manipulátore. Štruktúra je odvodená od konvenčného servo riadenia elektrických pohonov v analógii s hydraulickým systémom. Štruktúra bola implementovaná v prostredí NI LabView na riadiacom systéme CompactRIO.

**Kľúčové slová**—regulátor, hydraulika, LabView, robotika

**Abstract**—A paper deals with control system design and implementation of hydraulic drives, which are used for precise motion control tasks of hydraulic manipulator. Structure is derived from conventional servo control of electric drives because of similar principles in both systems. Structure was implemented in NI LabView on CompactRIO control system.

**Keywords**—controller, hydraulics, LabView, robotics

### I. ÚVOD

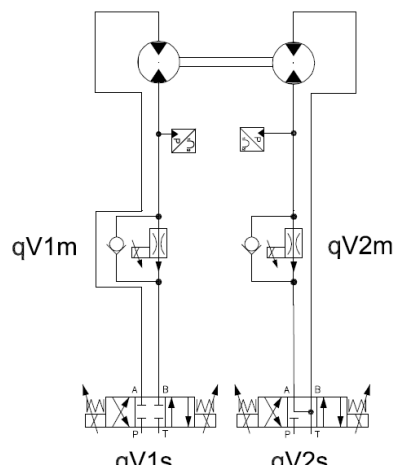
Pre robotické ramená určené na manipuláciu s ťažkými bremenami sa javí ako vhodná alternatíva využitie hydraulických aktuátorov namiesto konvenčných elektrických pohonov. Najväčšou výhodou hydraulického pohonného systému robotického manipulátora je dobrý pomer medzi hmotnosťou a výkonom aktuátora, ako aj efektívny lineárny hydraulický pohon. Nevýhodou je horšia riaditeľnosť spôsobená nelinearitami, ktoré musí riadiaci systém kompenzovať, ako aj dlhšie časové odozvy hydraulických ventilov, závislosť od teploty systému, prípadne riziko kontaminácie prostredia hydraulickým olejom. Na presné riadenie hydraulických aktuátorov použitých v robotickom ramene boli vytvorené a implementované regulačné štruktúry, ktoré riadia polohu jednotlivých kĺbov v danej aplikácii s dostatočnou presnosťou

### II. HYDRAULICKÝ SYSTÉM

#### A. Hydraulický systém s rotačnými motormi

Rotačný hydraulický servomotor dokáže vytvoriť vysoký krútiaci moment vo veľkom rozsahu otáčok. Avšak v oblasti nízkych rýchlostí (typicky 1-2% z plného rozsahu) nie je rýchlosť stabilná. Vyplýva to z princípu činnosti motora – tzv. piestikový systém, ktorý vytvorí kolísavý prietok hydraulickej kvapaliny počas otáčky motora. Trenie sa taktiež prejavuje hlavne pri nízkej rýchlosti otáčania. Rýchlosť je priamoúmerná prietoku hydraulickej kvapaliny na výstupe z motora, ktorý je rozdielom prietoku na výstupe a prietoku:

$$\omega_m \approx Q_{in} - Q_{leak} = Q_{out} \quad (1)$$



Obr. 1 Principiálna schéma rotačných motorov

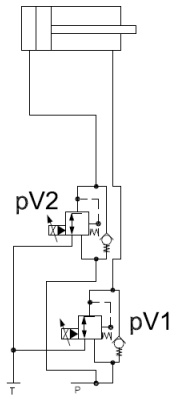
V prípade hydraulického rotačného motora využijeme dva navzájom mechanicky spriahnuté motory na otáčanie ramena v základni. Takáto mechanická štruktúra bola volená kvôli kompenzovaniu vzniknutej nežiadúcej vôle v prevodovke. Principiálna schéma zapojenia hydraulického pohonu je zobrazená na Obr. 1. Ako akčné členy sú v tomto zapojení využité proporcionálne prietokové ventily  $qV1s$  a  $qV2s$  a tlakovo kompenzované prietokové ventily  $qV1m$  a  $qV2m$ . Tlakovo kompenzované prietokové ventily majú samoregulačnú schopnosť riadenia prietoku, ktorá sa pri zmene zaťaženia motora, prípadne pri zmenách tlaku v systéme, zmení len nepatrne oproti proporcionálnemu prietokovému ventilu.

#### B. Hydraulický systém s lineárnymi motormi

Lineárny hydraulický motor na rozdiel od rotačného motora dokáže stabilne vykonávať pomalý pohyb konštantnou rýchlosťou. Má však obmedzený rozsah pohybu, ktorý je daný zdvihom valca. V robotickom manipulátore vytvára silu na ramene okolo kĺbu, čo je ekvivalentom krútiaceho momentu v kĺbe robota, ktorým by pôsobil elektrický motor umiestnený priamo v kĺbe. Takto vytvára akýsi mechanický prevod, ktorý je závislý od polohy kĺbu. Sila je priamoúmerná tlakovému spádu medzi komorami hydraulického valca v závislosti od plochy, na ktorú pôsobí. V prípade dvojčinného valca je táto plocha iná pri vťahovaní ako pri vytláčaní valca. Platí

$$F_v = \Delta p \times S \quad (2)$$

Lineárne valce sú použité na pohon ostatných kĺbov manipulátora. Ide hlavne o zdvihy vo vertikálnom smere. Principiálna schéma zapojenia hydraulického pohonu je znázornená



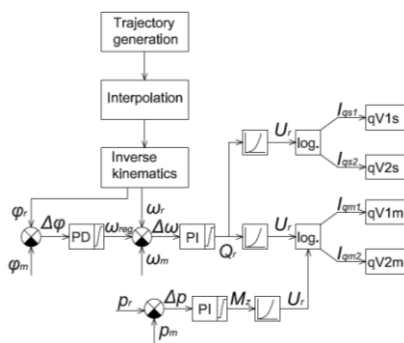
Obr. 2 Principiálna schéma lineárnych motorov

na Obr. 2. Ako akčné členy sú v tomto zapojení použité tlakové redukčné ventily. Tlakové redukčné ventily majú rýchlu odozvu oproti prietokovým ventilom a pracujú analogicky ako reguláciaprúdu pri elektrickom pohone, t. j. tlak vytvára moment (silu).

### III. REGULAČNÁ ŠTRUKTÚRA

#### A. Regulačná štruktúra polohovej regulácie na báze riadenia prietoku

Pre regulátor polohy kĺbu je nadradený riadiaci systém polohy koncového efektora v karteziánskom priestore. Ten na základe požiadavky na trajektóriu, zadávanú operátorom, vytvorí hladkú časovú krivku, ktorá prechádza cez definované body definovanou rýchlosťou a zrýchlením. Táto interpolovaná trajektória sa cez vzťahy inverznej kinematiky prepočítava na želanú polohu, rýchlosť a zrýchlenie kĺbov tak, aby bola dosiahnutá želaná trajektória. Tieto hodnoty vstupujú ako želané hodnoty do PD regulátora polohy a ako predkorekcia do PI regulátora rýchlosti. Regulačná štruktúra je kaskádna s nadradeným regulátorom polohy a podradeným regulátorom rýchlosti. Výstupom z regulátora je referenčný prietok nadradených (master) ventilov na výstupe z motorov  $qV1m$ , prípadne  $qV2m$  v závislosti od smeru prietoku. Ventily sú  $qV1s$  a  $qV2s$  sú podradené (slave) proporcionálne prietokové ventily a slúžia na obmedzenie prietoku na vstupe pri malých rýchlostiach motora, čím čiastočne eliminujú nestabilitu. Pre elimináciu vôle v prevodovke hnací motor brzdí hnací motor požadovaným tlakom  $p_r$ , ktorý zabezpečí PI regulátor nastavením prietoku proporcionálnych ventilov  $qV1m$  resp.  $qV2m$  v závislosti od smeru otáčania. Blokovaná schéma regulačnej štruktúry je znázornená na Obr. 3.



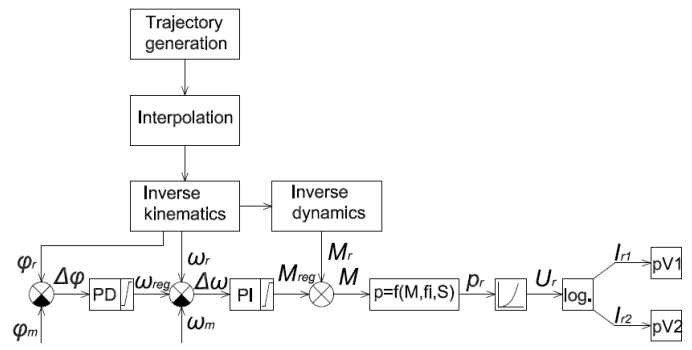
Obr. 3 Regulačná štruktúra s prietokovým ventilom

#### B. Regulačná štruktúra polohovej regulácie na báze riadenia tlaku

V prípade regulácie polohy kĺbov s lineárnymi valcami na báze riadenia tlaku je princíp nadradeného riadenia, generovania referenčných hodnôt regulátora a regulačná štruktúra polohy a rýchlosti obdobná ako v prípade štruktúry s prietokovými ventilmi. Líši sa hlavne tým, že výstupom z regulátora rýchlosti je referenčný moment, ktorý je možné kompenzovať momentom z dynamického modelu robota. Referenčný moment je imaginárny moment, ktorý by vyvinul poháňaný kĺb pre dosiahnutie požadovanej trajektórie. Tento moment je následne prepočítaný na ekvivalentný tlak vo valci. Výsledný tlak závisí od kinematiky valca vzhľadom k poháňanému kĺbu, polohy kĺbu a aktívnej plochy valca:

$$\Delta p = \frac{M_r}{S \times r(\varphi)} \quad (3)$$

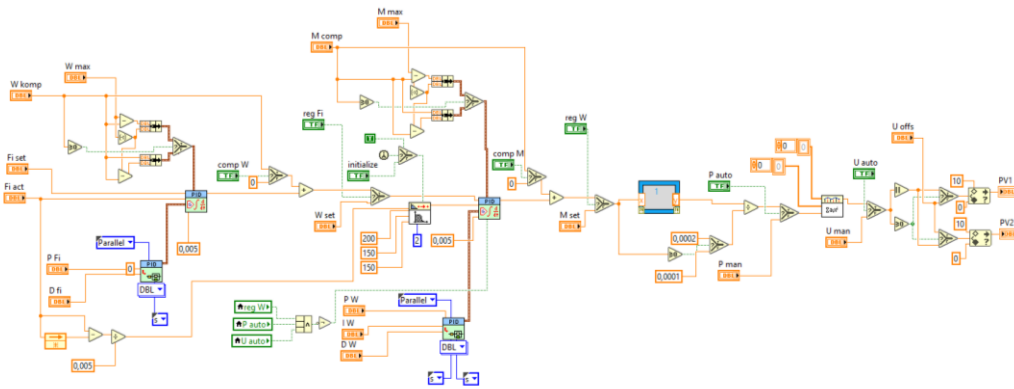
Zavedením tohto vzťahu sa silne nelineárna sústava zlinearizuje a konvenčná metóda servo riadenia polohy bude aplikovateľná na takýto systém. Získaný referenčný tlak je prepočítavaný podľa charakteristiky ventilu na riadiace napätie napäťovo/prúdového prevodníka ventilov  $pV1$  a  $pV2$ . Tieto ventily sú zapojené antiparalelne a riadiaca logika rozhoduje, ktorý bude aktívny v závislosti od hodnoty želaného momentu. Blokovaná schéma regulačnej štruktúry je znázornená na Obr. 4.



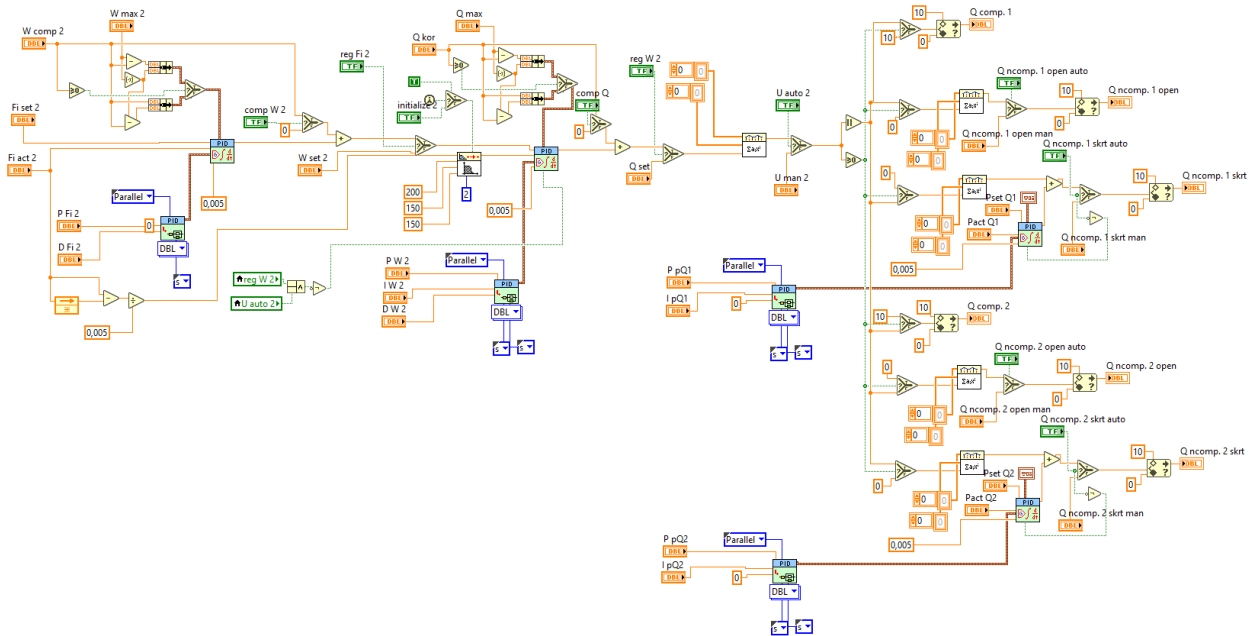
Obr. 4 Regulačná štruktúra s tlakovým ventilom

### IV. IMPLEMENTÁCIA

Regulačné štruktúry boli implementované v prostredí NI LabView na riadiacom systéme CompactRIO pre prípad prietokového a tlakového princípu. Riadiaci systém pozostáva z troch častí. Najnižšia úroveň spracovania vstupno-výstupných signálov je implementovaná v časti FPGA – programovateľných hradlových polí, ktoré majú okamžitú odozvu. V tejto časti sa spracovávajú snímače tlakov, filtre, komunikácia s prevodníkmi, komunikácia so snímačmi polohy, výpočet rýchlosti a pod. Regulačná časť je implementovaná v časti Real – Time kontroléra, kde sa ako časovo kritická operácia vykonáva s periódou vzorkovania 5 ms, čo je vzhľadom k časovej konštantne systému postačujúce. V host PC sa vykonáva generovanie trajektórie, interpolácia, inverzná kinematika, zobrazujú signály a zaznamenávajú merania. Blokované schémy – programy v prostredí LabView pre regulačné štruktúry na báze tlaku a prietoku sú znázornené na Obr. 5 a Obr. 6.



Obr. 5 Regulator tlakového ventilu



Obr. 6 Regulator prietokového ventilu

## V. ZÁVER

V článku boli prezentované regulačné štruktúry pre presné riadenie pohybu hydraulického manipulátora. Koncept vychádza z doterajších znalostí získaných z meraní a skúšaní na použitých hydraulických komponentoch, ako aj z doterajších skúseností iných projektoch ako [5] kde boli štruktúry na obdobnom princípe vyskúšané a odladené. V ďalšom pokračovaní práce bude modul regulácie implementovaný do riadiaceho systému a testovaný na fyzickom modeli.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0750.

Tento príspevok bol spracovaný vďaka podpore projektu Komplexný modulárny robotický systém strednej kategórie s vyššou inteligenciou, Stimuly evidenčné číslo Req-00169-0001

## POUŽITÁ LITERATÚRA

[1] N. J. Reza, "Theory of Applied Robotics – Kinematics, Dynamics, and Control," New York, Springer, 2006, ISBN 0-387-32475-5.

[2] J. Fetyko, "Control Strategy Principles of Leg Motion Control in a Six-Legged Robotic Vehicle" Miskolc, 2014, ISSN 978-963-538-051-6.  
 [3] Fetyko, J., Jezný, J., Úveges, R., & Fedak, V. (2014). Development of Motion Control of Legs in Six-Legged Robotic Vehicle. Applied Mechanics and Materials, 613, 36.  
 [4] JELALI, Mohieddine; KROLL, Andreas. Hydraulic servo-systems: modelling, identification and control. Springer Science & Business Media, 2012.  
 [5] Komplexný modulárny robotický systém strednej kategórie s vyššou inteligenciou, Stimuly evidenčné číslo Req-00169-0001

**Róbert Úveges** narodený 19.2.1991. V roku 2015 získal inžiniersky titul na Katedre elektrotechniky a mechatroniky na Fakulte elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach. Je študentom druhého ročníka doktorandského štúdia a jeho výskumná činnosť sa zameriava na priemyselnú a servisnú robotiku.

**František Ďurovský** získal inžiniersky a doktorský titul na Technickej univerzite v Košiciach v rokoch 1983 a 1993 v tomto poradí. V súčasnosti je docentom na Katedre elektrotechniky a mechatroniky TU Košice. Jeho oblasti záujmu výskumu sú riadenie pohybu, elektrické pohony v priemyselných a automobilových aplikáciách, riadenie a simulácia mechatronických systémov.