

# Master-Slave riadenie polohových servopohonov (3)

Milan Žalman, Ján Jovankovič, Marián Uriček

## 4. Programové riadenie polohového servopohonu

Pri odvodzovaní vzťahov pre predikčné väzby vychádzame teórie invariantnosti, ktorá je uvedená v práci [5]. Master generátor realizuje štvorrozmerný vektor riadenia – označovaný ako Master-4D. Stavovými riadiacimi veličinami sú okrem polohy aj rýchlosť, zrýchlenie a trh. Formálne sú predikčné väzby definované vzťahom:

$$\varphi^* \left[ 1 + \frac{k_1}{K_p} s + \frac{k_2}{K_p} s^2 + \frac{k_3}{K_p} s^3 \right] = \varphi^* \left[ 1 + b_1 s + b_2 s^2 + b_3 s^3 \right] = \varphi^* M_p(s) \quad (21)$$

kde

$$b_1 = \frac{k_1}{K_p} \quad b_2 = \frac{k_2}{K_p} \quad b_3 = \frac{k_3}{K_p}$$

Zovšeobecnený tvar prenosu riadenia bez uvažovania dynamiky GM

$$G(s) = \frac{1}{N(s)} = \frac{1}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3} \quad (22)$$

kde

$$a_1 = \frac{1}{K_p} \quad a_2 = \frac{B' + K_V}{K_p K_I} \quad a_3 = \frac{J}{K_p K_I}$$

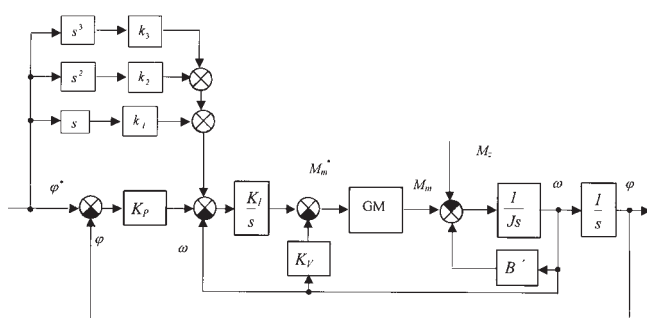
Prenos regulačnej odchýlky

$$G_e(s) = \frac{e(s)}{\varphi^*(s)} = \frac{\varphi^*(s) - \varphi(s)}{\varphi^*(s)} = 1 - \frac{\varphi(s)}{\varphi^*(s)} = 1 - \frac{M_p(s)}{N(s)} = \frac{N(s) - M_p(s)}{N(s)} \quad (23)$$

$$G_e(s) = \frac{(a_1 - b_1)s + (a_2 - b_2)s^2 + (a_3 - b_3)s^3}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3} = \frac{c_1 s + c_2 s^2 + c_3 s^3}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3} \quad (24)$$

prenos  $G_e(s) = 0$  keď súčasne koeficienty čitateľa prenosu regulačnej odchýlky  $c_1, c_2$  a  $c_3$  budú nulové platí:

$$a_1 = b_1 \quad k_I = 1 \quad (25)$$



Obr.8 Bloková schéma polohového servopohonu s PIV štruktúrou s predkorekciou Master-4D

$$a_2 = b_2 \Rightarrow \frac{B' + K_V}{K_p K_I} = \frac{k_2}{K_p} \quad k_2 = \frac{B' + K_V}{K_I} \quad (26)$$

$$a_3 = b_3 \Rightarrow \frac{J}{K_p K_I} = \frac{k_3}{K_p} \quad k_3 = \frac{J}{K_I} \quad (27)$$

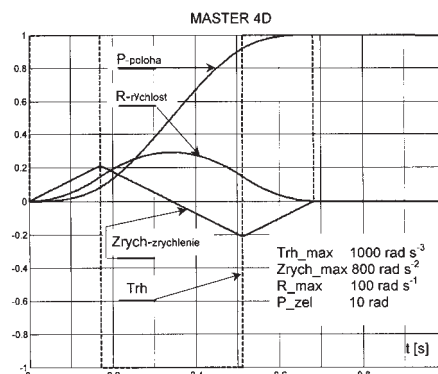
Vzťah pre koeficient  $k_2$  je možné upraviť dosadením vypočítaných parametrov PIV algoritmu (14).

$$k_2 = \frac{B' + K_V}{K_I} = \frac{1}{\omega_0}$$

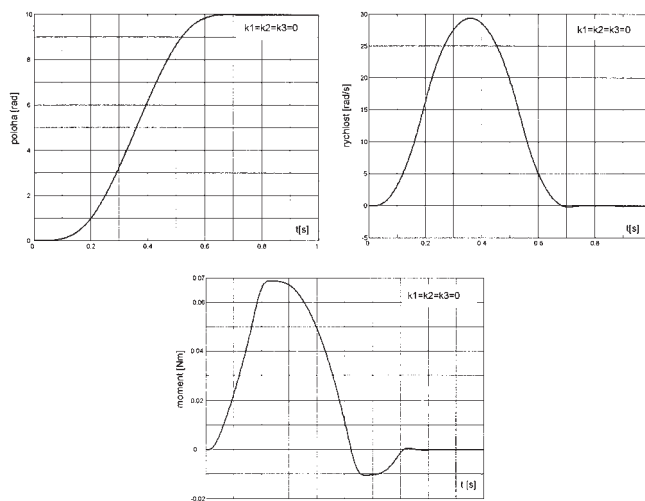
Ak uvažujeme dynamiku GM mení sa len koeficient čitateľa prenosu regulačnej odchýlky  $c_3$ , potom pre koeficient predikčnej väzby platí:

$$k_{3m} = k_3 + \frac{T_w B'}{K_I}$$

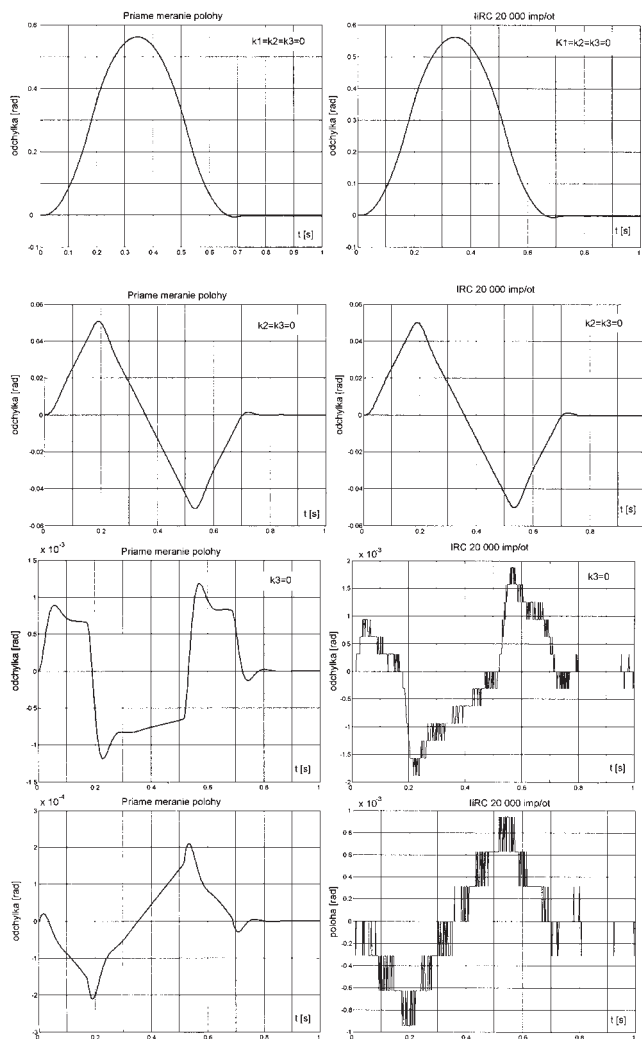
ak je viskózná zložka záťaže nulová, koeficient  $k_{3m}$  je pôvodný, platí  $k_{3m} = k_3$ .



Obr.9 Priebehy výstupných veličín MASTER-4D generátora



Obr.10 Priebehy stavových veličín polohového servopohonu so SMPM bez uvažovania IRC snímača polohy a bez predikčných väzieb



Obr.11 Porovnanie priebehov regulačných odchýlok polohy v závislosti od koeficientov predikčných väzieb  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  pre prípad priameho merania polohy a merania polohy z IRC snímača

## 5. Realizácia Master-Slave polohového servopohonu so SMPM

Navrhované algoritmy riadenia sme overovali na simulačnom modeli polohového servopohonu so synchronným motorom s permanentnými magnetmi – SMPM. Generátor momentu bol navrhnutý s využitím princípu vektorové frekvenčne-prúdového riadenia SMPM. Štruktúra riadenia je uvedená v [10]. Algoritmy navrhnutých regulátorov zložiek vektora statorového prúdu boli realizované ako PS regulátory, perióda vzorkovania  $T_{vi} = 0,1$  ms. Dynamické vlastnosti realizovaného GM vyjadruje časová konštanta  $T_n = 1$  ms.

Navrhnuté PIV algoritmy boli experimentálne overené na modeli polohového Master slave polohového servopohonu, obr. 8. Pozornosť bola venovaná hlavne vyšetrovaniu vplyvu predikčných koeficientov  $k_1$ ,  $k_2$ , a  $k_3$  na veľkosť regulačnej odchýlky polohy pre generátor riadenia typu Master-4D a vplyvu inkrementálneho snímača polohy – IRC na presnosť. Parametre IRC: 20 000 imp/ot.

Mechanický systém je charakterizovaný

- momentom zotrvačnosti:  $J = 0,0002 \text{ kgm}^2$
- viskóznou zložkou záťaže:  $B = 0,002 \text{ Nms}$ .

Nastaviteľné parametre PIV algoritmu riadenia:

$$f_o = 10 \text{ Hz}, \xi = 0,5, k = 5.$$

Vlastnosti Master-Slave polohového servopohonu so synchronným motorom s permanentnými magnetmi – SMPM dokumentujú priebehy získané zo simulačného experimentu, obr. 9 a 10.

## Záver

V príspevku sú uvedené súčasné trendy návrhu pohybových systémov prezentované z oblasti návrhu riadenia Master-Slave polohového servosystému. Navrhnuté riadenie realizuje v pracovnej oblasti kde nedochádza k fyzickému obmedzeniu akčnej veličiny optimálne trajektórie pohybu. Aplikáciou Master-Slave riadenia je možné zvýšiť presnosť riadenia ako je to potvrdené experimentálne na obr. 11. Regulátory s dvomi stupňami voľnosti sú pre pohybové systémy výhodné. Jednoducho sa aplikujú pri návrhu regulátorov metódou pole-placement. Predikčné koeficienty Master slave polohového servopohonu navrhnuté pre štvorrozmerný generátor riadiacej veličiny – MASTER-4D. ukazujú výrazný vplyv na presnosť sledovania polohy aj pri uvažovaní IRC snímača polohy. Vlastnosti navrhovaného Master-Slave riadenia boli overené na modeli polohového servopohonu so synchronným motorom s permanentnými magnetmi SMPM a sú univerzálne použiteľné nezávisle od výberu typu motora. Navrhnutá metodika syntézy regulátorov môže tvoriť základ inteligentných servopohonov so samonastavujúcimi regulátormi.

## Literatúra

- [1] ABELOVSKÝ, M.: Pozorovatele stavových veličín bezsnímačových servopohonov s AM, doktorandská dizertačná práca FEI STU 2004
- [2] ANDERLE, V.: Využití princípu MASTER\_SLAVE pro řízení elektrických pohonů, Elektrotechnický obzor 72, 1983 číslo 8
- [3] ELLIS, G., LORENZ, R. D.: Comparison of Motion Control Loops for Industrial Applications, copyright 1999, Darnel Group, Inc. <http://www.darnell.com>
- [4] LORENZ, R. D., LIPO, T. A., NOVOTNY, D. W.: Motion control with induction motors, Proceedings of the IEEE, vol. 82, No 8, august 1994
- [5] KALAŠ, V., JURÍŠICA, L., ŽALMAN, M.: Kybernetika elektrických pohonov, Alfa SNTL 1978 Bratislava
- [6] KAZMIERKOWKI, M. P., TUNIA, H.: Automatic control of converter-fed drives, Elsevier, Amsterdam-London-New York-Tokyo, PWN – Polish scientific publishers Warszawa, 1994
- [7] SCHLEGL, M.: Průmyslové PID regulátory-tutorial [www.rexcontrols.cz](http://www.rexcontrols.cz)
- [8] ZHANG, G., FURSHO, J.: Speed Control of Two-Inertia system by PI/PID control, IEEE, Transactions on industrial electronics, Vol. 47, No. 3, 2000
- [9] ŽALMAN, M., JOVANKOVIČ, J., BÉLAI, I.: Nové trendy vo výučbe a výskume pohybových systémov, Nové trendy vo vzdelávaní v oblasti automatizácie a informatiky, Stretnutie katedier automatizácie, 2-3 September 2004, Moravany nad Váhom, FE Zborník príspevkov CD nosič, FEI STU,
- [10] ŽALMAN, M.: Akčné členy, STU v Bratislave 2003

prof. Ing. Milan Žalman, PhD.  
Ing. Ján Jovankovič, PhD.  
Ing. Marián Uriček

Fakulta elektrotechniky a informatiky STU  
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava  
e-mail: milan.zalman@stuba.sk  
jan.jovankovic@stuba.sk  
marian.uricek@stuba.sk