

Optimálny návrh parametrov

regulátora polohového servopohonu s lineárnym motorom s PM pomocou genetických algoritmov

Jedna z najaktuálnejších tém v oblasti číslicového riadenia je riadenie lineárných motorov s permanentnými magnetmi (LMPM) v oblasti aplikácií, ktoré vyžadujú vysokú rýchlosť a vysokú presnosť polohovania. V aplikáciách, kde rotačné synchronne servomotory nespĺňajú požiadavky na rýchlosť a zrýchlenie, možno použiť LMPM, ktoré sa vyznačujú nasledujúcimi regulačnými charakteristikami:

- vysoká pojazdová rýchlosť až do 20 m/s,
- extrémna dynamika,
- vysoká presnosť polohovania (1 μm),
- rovnomerný pohyb,
- opakovateľnosť pohybu (1 μm),
- vysoká pracovná sila motora až 20 700N,
- úspora mechanických opotrebovateľných dielov, ako sú spojka, remene a guľôčkové skrutky.

Lineárne motory majú široké spektrum použitia, ale najčastejšie sa využívajú:

- vo vysokorýchlostných obrábacích strojoch, frézkach, brúskach, rezacích strojoch,
- v manipulačných systémoch,
- v baliacích strojoch,
- v meracích a skúšobných systémoch, (mikro a nano technológie)
- v presných automatoch atď.

Svetoznáma spoločnosť vo výrobe obrábacích centier MAZAK používa lineárne motory napríklad vo svojich laserových rezačkách na pohon osí X, Y a Z. V rezačke typu F3-660L dokážu tieto motory vyvinúť rýchlosť až do 208 m/min., čo je jeden z kľúčových faktorov pre masovú výrobu komponentov do automobilového priemyslu [5].

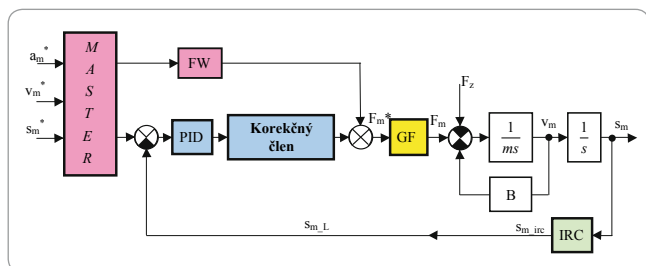
Polohový servopohon Master-Slave s LMPM

Pre dynamicky náročný polohový servopohon treba zvoliť vhodnú (optimálnu) štruktúru riadenia. Riadenie Master-Slave umožňuje splniť tieto náročné požiadavky na kvalitu riadenia. Master-Slave patrí medzi známe druhy v oblasti riadenia manipulatorov, výkonných systémov, medicínskych prístrojov a pod. Významnou prednosťou princípu Master-Slave je, že nepotrebuje presný matematický model objektu riadenia. Stačí len kvalitatívny model riadenej sústavy s predstavou o veľkosti hlavných parametrov (napr. čas rozbehu na menovitú rýchlosť s menovitou silou). Tieto údaje potom slúžia na nastavenie požadovaného vektora riadenia (stavovej trajektórie) Master generátora.

Na obr. 1 je kompletná bloková schéma polohového servopohonu, ktorá sa skladá z:

- Master generátora – predstavuje blok programového riadenia Master-Slave a umožňuje realizovať dopredné riadenie predkorekčným blokom Feed forward – FW, podrobnosti návrhu možno nájsť v [2],
- generátora sily (GF) – predstavuje jadro štruktúry polohového servopohonu, podrobnosti návrhu možno nájsť v [1],
- regulátora polohy PID a KČ lead kompenzátor – predstavujú novú optimálnu štruktúru regulátora polohy, ktorá bola navrhnutá v [3].

3D Master generátor želanej veličiny obsahuje tri zložky: zrýchlenie a_m^* , rýchlosť v_m a polohu s_m .



Obr. 1 Blokova schéma polohového servopohonu s Master generátorom a korekčným členom

Optimálny výpočet parametrov PID regulátora + KČ pomocou genetických algoritmov

Genetické algoritmy (GA) patria medzi základné stochastické optimalizačné algoritmy umožňujúce nájdenie optimálnych parametrov regulátora PID a korekčného člena (KČ). Na získanie parametrov regulátora pomocou GA je potrebné zdefinovanie parametrov (génov) regulátora. Pri diskretnom PID regulátore sú to tri gény – proporcionálna zložka P, integračná zložka I a derivačná zložka D.

$$G_{PID}(z) = P + I \frac{Tz}{z-1} + D \frac{z-1}{Tz} \quad (1)$$

Výsledný chromozóm bude mať tvar:

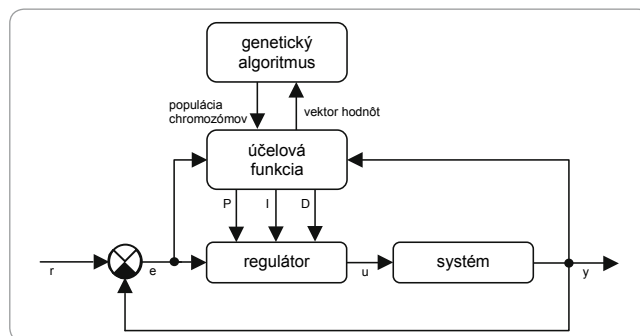
$$r = (P, I, D) \quad (2)$$

Ako reprezentáciu týchto parametrov zvolíme reálne číselné hodnoty. Pri použití reálneho číselného kódovania je oproti binárnemu kódovaniu priebeh riešenia stabilnejší. Dôležitou súčasťou je určenie prípustných intervalov hodnôt pre každý gén reťazca. V prípade PID regulátora je populácia reprezentovaná intervalmi $(P_{min}, P_{max}); (I_{min}, I_{max}); (D_{min}, D_{max})$ zapísaná v tvare matice:

$$Populácia = \begin{pmatrix} P_{min} & I_{min} & D_{min} \\ P_{max} & I_{max} & D_{max} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Cieľom účelovej (fitness) funkcie je otestovať každého jedinca a prideliť mu hodnotu založenú na tom, ako dobre jeho parametre regulátora (P, I, D) riadia proces. Na vyhodnotenie vlastností navrhovaného regulátora je nevyhnutné overiť kvalitu riadenia na simulačnom modeli systému (obr. 1).

Proces optimalizácie parametrov pozostáva z dvoch krokov. Prvým je načítanie vypočítaných parametrov do modelu regulátora a KČ a následné testovanie na simulačnom modeli. Reakcia systému (priebeh regulačnej odchýlky) je vyhodnotená pomocou účelovej fitness funkcie ako vektor s okamžitými hodnotami reakcie. Druhým krokom je vyčíslenie účelovej fitness funkcie (obr. 2).



Obr. 2 Návrh diskretného PID regulátora pomocou GA

Pomocou účelovej fitness funkcie sa vypočíta chybová funkcia pre každý člen populácie. Požadovaným cieľom je minimalizácia regulačnej odchýlky procesu, ktorá závisí aj od vlastností použitého kritéria [4]. Proces je opakovaný pre konečný počet generácií. Fitness funkcia je definovaná vzťahom:

$$Fitness = \sum |e| + a \sum |dy| \quad (4)$$

Proces hľadania

V prvom bode sa vygeneruje náhodná populácia s preddefinovaným počtom chromozómov v jednej populácii v rámci predpísaných ohraničení pre parametre regulátora.

$$\begin{aligned}
 \text{Populácia} &= \begin{pmatrix} P_{\min} & I_{\min} & D_{\min} & a_{\min} & a_{2\min} & b_{2\min} \\ P_{\max} & I_{\max} & D_{\max} & a_{\max} & a_{2\max} & b_{2\max} \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ 10000 & 800 & 100 & 20 & 1 & 1 \end{pmatrix}
 \end{aligned} \quad (5)$$

Následne sa podľa fitness funkcie vyberú dva najlepšie reťazce do nasledujúcej generácie. Pomocou výberu súťaže sa vyberie väčší počet reťazcov (v našom prípade 18) do ďalšej generácie. Následne sa do populácie aplikuje niekoľko mutácií a krížení na získanie lepšej šance dosiahnuť globálne optimum. Optimalizačný algoritmus je schopný navrhnúť šesť parametrov pre PID regulátor a korekčný člen. Diskrétna prenosová funkcia pre korekčný člen predstavuje:

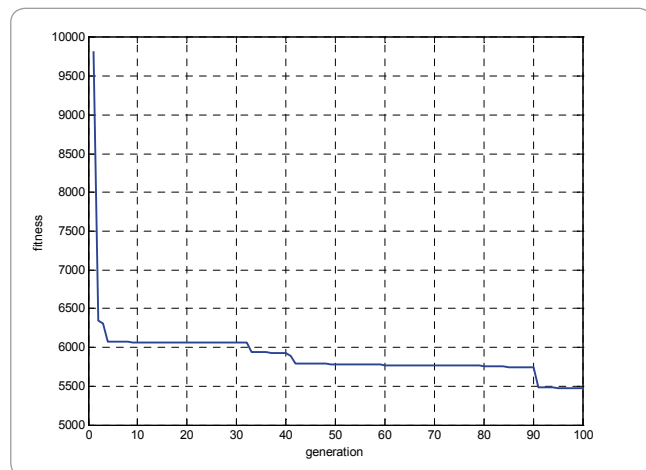
$$G_{KC}(z) = \frac{a_1 z + a_2}{z + b_2} \quad (6)$$

Simulačné experimenty boli realizované v prostredí Matlab Simulink s využitím Genetic algorithm toolboxom. V tab. 1 sú uvedené použité parametre genetického algoritmu.

Počet generácií	100
Počet chromozómov v jednej populácii	30
Počet génov reťazci	3

Tab. 1 Použitie parametre na optimalizáciu genetickým algoritmom

Progres hľadania optimálnych výsledkov fitness funkciou je na obr. 3.



Obr. 3 Konvergencia genetického algoritmu

Genetické algoritmy sú veľkým prínosom, keďže sú schopné navrhnuť šesť parametrov (P , I , D , a_1 , a_2 , b_2) pre PID regulátor spolu s korekčným členom v diskretnéj forme.

Pre metódu rozmiestňovania pólov boli zvolené nasledujúce voliteľné parametre: pásmo priepustnosti $f_0 = 10 \text{ Hz}$, koeficient tlmenia $\xi = 1$ a posun pólu $k = 1$. Parametre korekčného člena boli vypočítané experimentálnou metódou:

$$a = 20, T_1 = 1/\omega_m \sqrt{a}, \omega_m = \omega_0$$

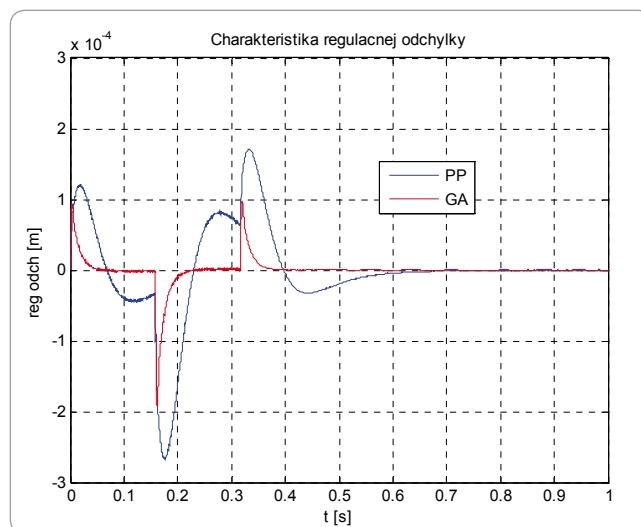
Parametre PID regulátora a KČ získané pomocou metódy pole placement (PP) a genetických algoritmov (GA) sú uvedené v tab. 2.

	P	I	D	a_1	a_2	b_2
PP	4737,4	99220	75,3882	20	-19,9454	-0,9454
GA	9487,8	2836,6	149,96	2,8694	-0,8131	-0,6106

Tab. 2 Porovnanie parametrov získaných metódou rozmiestňovania pólov a genetickými algoritmi s 3D Master generátorom

Pri vyhodnotení experimentov modelu polohového servopohonu (obr. 1) sa ako kritérium kvality vybral časový priebeh regulačnej odchýlky polohy (obr. 4). Experimentálne výsledky potvrdzujú prínos použitia moderných metód výpočtu parametrov regulátorov. Presnosť polohovania vyjadrená regulačnou odchýlkou je posudzovaná pri použití dvoch metód návrhu parametrov regulátora, a to metódy rozmiestňovania pólov (PP) a genetických algoritmov (GA).

Z priebehov regulačnej odchýlky je zrejme, že pomocou genetických algoritmov možno súčasne optimálne navrhnuť šesť parametrov s vyššou presnosťou polohovania, čo predstavuje prínos v metodike návrhu parametrov regulátorov a korekčných členov zložitejších štruktúr riadenia [3].



Obr. 4 Časové priebehy regulačnej odchýlky získané pomocou metód PP a GA s 3D Master generátorom

Záver

Cieľom článku bolo ukázať netradičný prístup pri navrhovaní parametrov regulátora a korekčného člena zložitej štruktúry riadenia polohového servopohonu s LMPM, ktorý má zabezpečovať vysokú dynamiku a presnosť polohovania. Pri návrhu parametrov sú využité dve módy návrhu: štandardná metóda rozmiestňovania pólov (m. pole placement) a metóda návrhu pomocou genetických algoritmov. Výsledky návrhu sú posudzované pomocou experimentov realizovaných na simulačných modeloch v prostredí Matlab Simulink.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. VMSP-II-0015-09“

Literatúra

- [1] ŽALMAN, M. – JOVANKOVIČ, J.: Nové trendy v riadení lineárnych pohonov. In: AT&P journal 2/2006.
- [2] ŽALMAN, M. – JOVANKOVIČ, J. – URIČEK, M.: Master-Slave riadenie polohových servopohonov. In: ATP journal č. 2, 3, 4/2005.
- [3] RADIČOVÁ, T.: Moderné prístupy číslicového riadenia polohových servosystémov s LMPM. Dizertačná práca. FEI STU 2012.
- [4] JANČOVIČ, M. – ŽALMAN, M.: Návrh regulátora rýchlosti asynchrónneho motora prostredníctvom genetických algoritmov. In: AT&P journal PLUS1, 2009.
- [5] <http://www.mazakusa.com/productpage.asp?IngEquipID=4>

prof. Ing. Milan Žalman, PhD.

milan.zalman@stuba.sk

Ing. Tatiana Radičová

tatiana.radicova.@stuba.sk

Slovenská technická univerzita
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Ústav riadenia a priemyselnej informatiky
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava