

### 3. Základné štruktúry riadenia stavových veličín

Štruktúra generátora momentu (GM), opísaná v druhej časti seriálu, sa používa pri momentových a ťahových systémoch a takisto tvorí jadro štruktúr riadenia mechanických stavových veličín, ako sú rýchlosť a poloha. Uzavretá štruktúra GM má najvyššiu dynamiku a pre syntézu ďalších štruktúr riadenia ju môžeme zanedbať (ak treba, stačí ju nahradiť sústavou prvého rádu). Potom nám pre syntézu regulátorov pomocou metódy rozmiestnenia pólov stačí poznať parametre pohybovej rovnice ako moment zotrvačnosti a viskóznou zložku záťaže, nezávisle od toho, o aký typ elektrických pohonov ide (jednosmerné alebo striedavé).

#### Rýchlostné servopohony

Cieľom riadenia rýchlostného servopohonu je, aby technologické zariadenie mohlo:

- dosahovať rýchlosť s predpísanou kvalitou v dynamickom a statickom režime,
- kompenzovať vplyv poruchovej veličiny,
- bezpečne ukončiť svoju činnosť pri havarijných stavoch.

Rýchlostné servopohony môžeme klasifikovať:

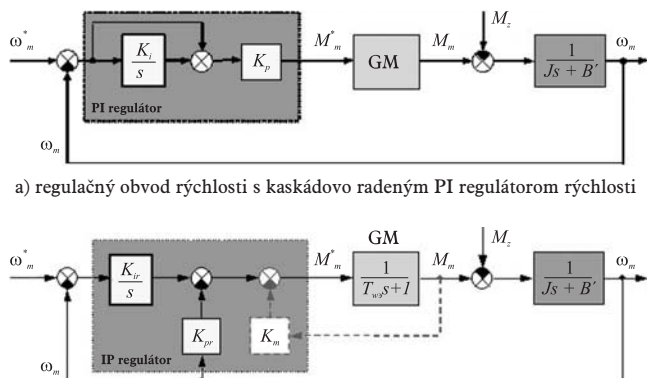
- podľa regulačného rozsahu (s konštantným magnetickým tokom, s konštantným výkonom, s optimálnou spotrebou energie atď.),
- podľa počtu motorov na jednomotorové a viacmotorové (technologické linky),
- podľa spôsobu vyhodnotenia uhlovej rýchlosti v spätnej väzbe:
  - uzavreté – s priamym meraním mechanických veličín,
  - otvorené – s pozorovateľmi alebo estimátormi uhlovej rýchlosti

(snímače, pozorovatele a estimátory budeme rozoberať v 6. časti seriálu).

Základná štruktúra rýchlostného pohonu je klasická kaskádová PI (obr. 11a). V servopohonoch je čoraz populárnejšia IP rýchlostná štruktúra (obr. 11b). Kvalita regulačného pochodu sa nastavuje iba pásmom priepustnosti a tlmením systému.

Pri návrhu parametrov IP regulátora pomocou metódy rozmiestnenia pólov sa uvažuje moment zotrvačnosti  $J$  a viskózne trenie  $M_z = B' \omega_m$ , kde  $\omega_m$  je mechanická uhlová rýchlosť.

Ak môžeme zanedbať dynamiku regulačného obvodu momentu ( $GM(s) = 1$  a  $K_M = 0$ ), potom prenos uzavretého regulačného obvodu rýchlosti ROR má takýto tvar:



a) regulačný obvod rýchlosti s kaskádovo radeným PI regulátorom rýchlosti  
b) regulačný obvod rýchlosti pri použití IP regulátora s možnosťou stavovej väzby od momentu

Obr.11

$$\frac{\omega_m(s)}{\omega_m^*(s)} = \frac{K_{ir}}{Js^2 + (B' + K_{pr})s + K_{ir}} \quad (7)$$

$$\frac{\omega_m(s)}{\omega_m^*(s)} = \frac{K_{ir} / J}{s^2 + \frac{(B' + K_{pr})}{J}s + K_{ir} / J} \quad (8)$$

$$G_z(s) = \frac{\omega_0^2}{s^2 + 2b\omega_0 s + \omega_0^2} \quad (9)$$

Porovnaním vzťahov (8) a (9) sa získajú vzťahy na výpočet parametrov  $K_{ir}$  a  $K_{pr}$  IP regulátora:

$$K_{ir} = J\omega_0^2 \quad (10)$$

$$K_{pr} = 2b\omega_0 J - B' \quad (11)$$

kde  $\omega_0$  je pásmo priepustnosti v rad/s,  
 $b$  – tlmenie.

Keďže bola zanedbaná dynamika ROM (regulačného obvodu prúdu), pásmo priepustnosti regulačného obvodu rýchlosti (ROR) musí byť zvolené rádovo menšie, ako je pásmo priepustnosti ROM. Pásmo priepustnosti ROR pri použití IP RR možno zvýšiť použitím stavovej spätnej väzby od momentu motora. Táto spätná väzba posúva reálny pól ROR viac doľava a tým tlmí vplyv kmitavých komplexne združených pólov a zvyšuje pásmo priepustnosti.

#### Príklad rýchlostného servopohonu s JM HSM150

GM má tlmenie  $b = 1$  a vlastnú frekvenciu  $\omega_0 = 4,6377e + 3$  rad/s (738,11 Hz). Ak zanedbáme jeho dynamiku a pre rýchlostný obvod zvolíme tlmenie  $b = 1$  a vlastnú frekvenciu  $\omega_0 = 500$  rad/s (80 Hz), potom  $K_{ir} = 30$  a  $K_{pr} = 0,12$ .

Obr. 12a a 12b zobrazujú priebeh uhlovej rýchlosti a prúdu pri skokovej zmene žiadanej hodnoty 30 rad/s a skoku záťaže na 90 %  $M_{max}$  v čase 0,15 s.

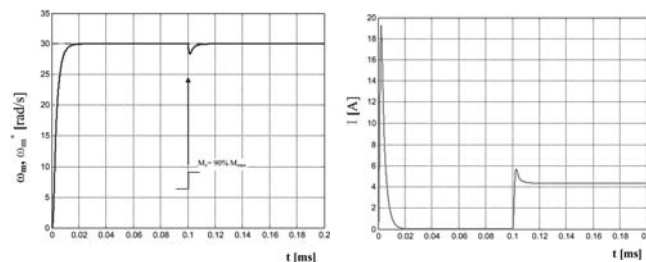
#### Polohové servopohony

Cieľom riadenia polohy je umožniť:

- presun z bodu do bodu (PTP riadenie) predpísanou dynamikou a s predpísanou presnosťou, napr. časovooptimálne riadenie,
- sledovanie trajektórie pohybu s minimálnou chybou (programové riadenie), napr. pomocou interpolátorov trajektórie pohybu,
- presun s minimálnou spotrebou energie, napr. pri dopravných prostriedkoch s vlastným zdrojom energie.

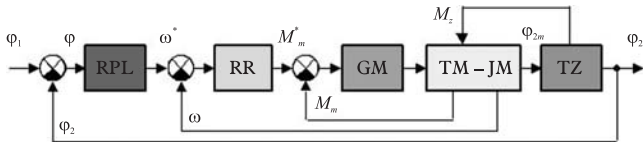
Polohové servopohony môžeme klasifikovať:

- vzhľadom na vyhodnotenie polohy na uzavreté (priame meranie polohy) a otvorené (napr. polohové servopohony s krokovým motorom),

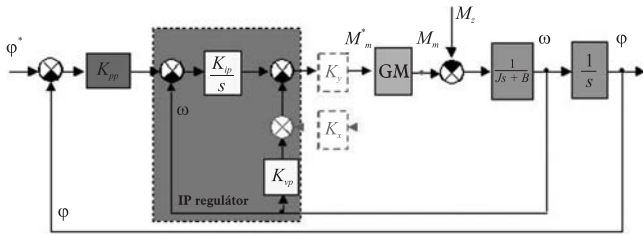


a) priebeh aktuálnej a žiadanej rýchlosti IP rýchlostnej štruktúry  
b) priebeh prúdu

Obr.12



**Obr.13** Bloková schéma polohového servopohonu s kaskádovo radenými regulátormi rýchlosti a polohy prúdu



**Obr.14** Bloková schéma PIVD polohového servopohonu s generátorom momentu

- podľa počtu osí na jednoosové a viacové,
- vzhľadom na spôsob snímania polohy na analógové (potenciometre, indukčné, kapacitné snímače atď.) a číslicové (inkrementálne snímače polohy, resolvery atď.).

Najznámejšia a v praxi najviac používaná štruktúra polohového servopohonu, pomocou ktorej sa s drobnou úpravou dajú splniť všetky uvedené ciele, je štruktúra s kaskádovo radenými regulátormi rýchlosti a polohy. Na obr. 13 je uvedená kaskádová polohová štruktúra servopohonu s TM-JM, kde RPL je regulátor polohy, RR je regulátor rýchlosti, TM-JM tranzistorový (tyristorový) menič – jednosmerný motor a TZ je technologické zariadenie.

Pri syntéze parametrov polohového servopohonu musia byť parametre RR a RPL v súlade, t. j. syntéza parametrov rýchlostného regulátora (hlavne jeho dynamika) musí byť prispôbená požiadavkám polohovej štruktúry. Túto podmienku vieme elegantne splniť použitím PIV polohovej štruktúry, kde metódou rozmiestnenia pólov súčasne vykonáme syntézu polohového a rýchlostného regulátora (obr. 14).

Polohový regulátor sa volí iba s proporcionálnym členom (P). Je to pre integrálnu závislosť polohy od uhlovej rýchlosti, medzi ktorou nemôže pôsobiť žiadna porucha. Z hľadiska presnosti regulácie stačí P regulátor na dosiahnutie nulovej odchýlky, keďže sústava obsahuje astatizmus. Ak uvažujeme dynamiku GM, potom uvedená štruktúra prechádza na PIVD tvar pridaním blokov s prerušovanými čiarami. Zanedbaním dynamiky GM, t. j.  $GM(s) = 1$  a  $K_y = 1$ ,  $K_x = 0$  sa prenosová funkcia riadenia dá vyjadriť v tomto tvare:

$$\frac{\Phi_m(s)}{\Phi_m^*(s)} = \frac{\frac{K_{pp}K_{ip}}{J}}{s^3 + \frac{K_{vp}}{J}s^2 + \frac{K_{ip} + B}{J}s + \frac{K_{pp}K_{ip}}{J}} = \frac{\omega_0^3}{(s^2 + 2b\omega_0s + \omega_0^2)(s + \omega_0)} \quad (12)$$

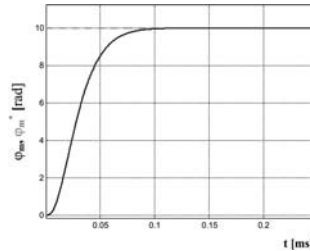
Predpokladáme, že charakteristický polynóm 3. stupňa má dvojicu komplexne združených pólov a jeden reálny pól. Porovnaním koeficientov polynómu menovateľov získame vzťah na výpočet parametrov PIV regulačnej štruktúry:

$$K_{pp} = \frac{\omega_0}{2b+1} \quad K_{ip} = \omega_0^2(2b+1)J \quad K_{vp} = \omega_0(2b+1)J - B' \quad (13)$$

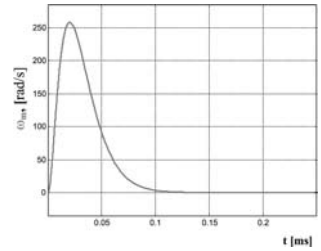
Pásmo priepustnosti ROP musí byť zvolené rádovo menšie (niekoľko Hz), ako je pásmo priepustnosti GM.

#### Príklad polohového servopohonu s JM HSM150

GM má tlmenie  $b = 1$  a vlastnú frekvenciu  $\omega_0 = 4,6377e + 3$  rad/s (738,11 Hz). Pri návrhu parametrov polohovej štruktúry zanedbáme jeho dynamiku. Ak zvolíme tlmenie  $b = 1$  a vlastnú frek-



a) priebeh aktuálnej a žiadanej polohy PIV polohovej štruktúry



b) priebeh rýchlosti PIV polohovej štruktúry

**Obr.15**

venciu  $\omega_0 = 94,3$  rad/s (15 Hz), potom  $K_{pp} = 31,43$ ,  $K_{ip} = 3,201$  a  $K_{vp} = 0,0339$ .

Obr. 15a zobrazuje priebeh polohy a obr. 15b rýchlosti riadenia PTP

*Pokračovanie v budúcom čísle.*

**Ing. Ján Jovankovič, PhD.**  
**prof. Ing. Milan Žalman, PhD.**

37

**Slovenská technická univerzita v Bratislave**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra automatizácie a regulácie**  
**Ilkovičova 3, 842 47 Bratislava**  
**e-mail: jan.jovankovic@stuba.sk**  
**milan.zalman@stuba.sk**