



# Riadenie pohybu (3)

## Polohové servopohony

V tretej časti sa zoznámime so systémami, ktoré zabezpečuje riadenie polohy. V článku uvedieme základné štruktúry regulačných obvodov s kaskádovým radením regulátorov a PIV štruktúrou. Aj pri návrhu parametrov regulátorov polohového servopohonu budeme aplikovať metódu pole placement, ktorej použitie je pre inžiniersku prax veľmi jednoduché. V závere sa venujeme programovému riadeniu typu Master – Slave.

### Polohové servopohony klasifikujeme podľa:

#### a) spôsobu merania polohy:

- otvorené systémy (napr. polohové servopohony s krokovými motormi),
- uzatvorené (s priamym meraním polohy);

#### b) počtu osí:

- jednoosové (riadenie polohy na priamke, uhol natočenia),
- viacosové (v rovine  $x - y$ , v priestore  $x - y - z$ , ortogonálny alebo polárny súradnicový systém), obrábacie stroje, priemyselné roboty;

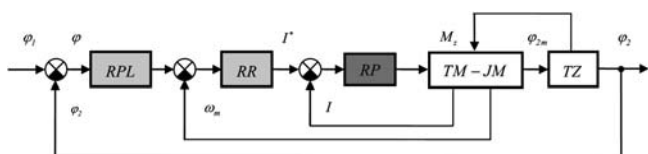
#### c) cieľa riadenia:

- časovo optimálne – PTP riadenie (point-to-point – z bodu do bodu), napr. vyvrtávačky dosiek plošných spojov,
- na programové riadenie (sledovanie trajektórie pohybu s minimálnou chybou), napr. obrábacie stroje,
- ktoré majú minimum spotreby energie (dopravné prostriedky s vlastným zdrojom energie, napr. elektromobily);

#### d) meracieho princípu vyhodnotenia polohy snímača:

- analógové (potenciometre, indukčné a kapacitné snímače),
- číslicové (inkrementálne snímače polohy, kódové kotúče, resolvery).

Ako príklad uvedieme blokovú schému polohového servopohonu s kaskádovo podradenými regulátormi rýchlosti a prúdu na obr. 1, kde blok JM PM označuje jednosmerný motor s permanentnými magnetmi, TM tranzistorový menič, TZ technologické zariadenie, RPL regulátor polohy, RR regulátor rýchlosti a RP regulátor prúdu.

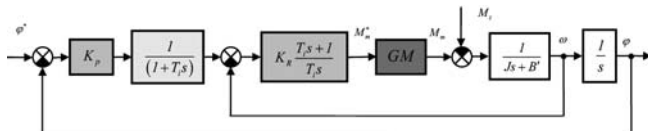


Obr.1 Bloková schéma polohového jednosmerného servopohonu s kaskádovo radenými regulátormi rýchlosti a prúdu

Regulačné vlastnosti polohových servopohonov sú určené zvolenou štruktúrou regulátorov a kritériom výberu ich parametrov. Samozrejme, na kvalitu vplyva výber snímačov polohy, vlastnosti polovodičových meničov a pod.

V ďalšej časti sa budeme zaoberať návrhom regulátorov rýchlosti a polohy. Regulačný obvod prúdu reprezentuje, ako sme uviedli v I. časti, generátor momentu a je navrhnutý na maximálnu možnú dynamiku.

V servoregulátoroch rôznych výrobcov sa najčastejšie používa štruktúra PI regulátora rýchlosti a P regulátor polohy. Optimálne nastavenie



Obr.2 Bloková schéma polohového servopohonu s P + PI regulátormi

regulátorov v kaskádovej štruktúre polohového servopohonu je možné, len keď sa súčasne nastavujú regulátory rýchlosti PI a polohy P. Túto požiadavku výrobcovia často nedodržia a v príručkách odporúčajú len experimentálny spôsob nastavovania parametrov regulátora rýchlosti a následne regulátora polohy.

Kritériá výberu parametrov regulátorov sú rôzne. V našom prístupe dávame prednosť frekvenčným metódam, kde je kvalita charakterizovaná frekvenčným pásmom priepustnosti. Pri návrhu vychádzame zo zjednodušeného modelu (obr. 2).

Prenos generátora momentu nech je  $G_M(s) = 1$ . Výpočet parametrov regulátora rýchlosti a regulátora polohy metódou pole placement vyžaduje vypočítať prenosovú funkciu riadenia regulačného obvodu polohy  $G_P(s)$ .

Ak do polohovej slučky zaradíme filter s prenosom  $1/(1 + T_i s)$ , ktorým kompenzujeme nulu prenosovej funkcie otvoreného obvodu  $G_{0P}(s)$ , prenosová funkcia riadenia uzavretého obvodu polohovej slučky sa potom dá vyjadriť v tvare:

$$G_P(s) = \frac{M_p(s)}{N_p(s)} = \frac{\frac{K_R K_P}{T_i J}}{\frac{K_R K_P}{T_i J} + \frac{K_R}{T_i J} s + T_i \left( \frac{K_R + B'}{T_i J} \right) s^2 + s^3} \quad (1)$$

Charakteristický polynóm prenosu  $N_p(s)$  je 3. stupňa, jeho koeficienty sa dajú vyjadriť takto:

$$N_p(s) = s^3 + \frac{K_R + B'}{J} s^2 + \frac{K_R}{T_i J} s + \frac{K_R K_P}{T_i J} = s^3 + B_2 s^2 + B_1 s + B_0 \quad (2)$$

$$B_2 = \frac{K_R + B'}{J} \quad B_1 = \frac{K_R}{T_i J} \quad B_0 = \frac{K_R K_P}{T_i J}$$

Želané póly polynómu nech obsahujú dvojicu komplexne združených pólův a jeden jednoduchý pól, potom platí:

$$N_{po}(s) = (s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2)(s + k\omega_0) = s^3 + B_{20} s^2 + B_{10} s + B_{00} \quad (3)$$

$$B_{20} = \omega_0^2(2\xi + k) \quad B_{10} = \omega_0^2(2\xi k + 1) \quad B_{00} = k\omega_0^3$$

Z podmienky  $N_p(s) = N_{po}(s)$  platia pre jednotlivé koeficienty tieto rovnice:

$$B_2 = B_{20} \rightarrow \frac{K_R + B'}{J} = B_{20}$$

$$B_1 = B_{10} \rightarrow \frac{K_R}{T_i J} = B_{10}$$

$$B_0 = B_{00} \rightarrow \frac{K_R K_P}{T_i J} = B_{00} \quad (4)$$

Koeficienty P + PI regulátora, bez uvažovania dynamiky GM, sú určené vzťahmi:

$$K_R = B_{20} J - B' \quad B_{20} = \omega_0^2(2\xi + k)$$

$$T_i = \frac{B_{20} J - B'}{B_{10} J} \quad \text{kde} \quad B_{10} = \omega_0^2(2\xi k + 1)$$

$$K_P = \frac{B_{00}}{B_{10}} \quad B_{00} = k\omega_0^3 \quad (5)$$

Ak platí nasledujúca nerovnosť  $J\omega_0(2\xi + k) > B'$ , potom môžeme zanedbať vplyv viskózneho trenia. Výpočet koeficientov regulátorov P + PI polohového servopohonu sa zjednoduší, a tak platí:

$$K_R = J\omega_0(2\xi + k) - B' \approx \tilde{J}\omega_0(2\xi + k)$$

$$T_i = T_i = \frac{K_R}{\omega_0^2(2\xi k + 1)J} \cong \frac{2\xi + k}{\omega_0(2\xi k + 1)}$$

$$K_P = \frac{k\omega_0}{2\xi k + 1} \quad (6)$$

Na zjednodušený výpočet koeficientov regulátorov P + PI stačí len znalosť momentu zotrvačnosti. Parametre  $K_P$  a  $T_i$  sú určené len voliteľnými parametrami: vlastnou frekvenciou (frekvenčným pásmom priepustnosti) –  $\omega_0$ , tlmením  $\xi$  a koeficientom posunutia pólu  $k$ .

**Celý článok „Riadenie pohybu (3)“, kde je ešte opísaný spôsob a výsledky experimentálneho overenia vlastností P + PI regulátora, PIV algoritmus riadenia polohového servopohonu, Master – Slave riadenie, kombinované (dopredné – feed forward) riadenie s doložením experimentálnych výsledkov, ako aj problematika re-**

**gulačných požiadaviek na servopohony obrábacích strojov, si môžete prečítať na [www.atpjournal.sk](http://www.atpjournal.sk) pri odkaze na tento článok.**

**Tretou časťou sa končí seriál „Riadenie pohybu“. Ak by ste mali otázky, resp. námety, ako danú tému rozšíriť, príp. čomu by sa mohli venovať nasledujúce časti, napíšte nám ich do redakcie na adresu [sefredaktor@atpjournal.sk](mailto:sefredaktor@atpjournal.sk). Vašu diskusiu očakávame aj na internete [www.atpjournal.sk](http://www.atpjournal.sk) v sekcii Chceli ste vedieť.**

**prof. Ing. Milan Žalman, PhD.**

Slovenská technická univerzita  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Ústav riadenia a priemyselnej informatiky  
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava  
e-mail: [milan.zalman@stuba.sk](mailto:milan.zalman@stuba.sk)