

Mechatronicke pohybove systemy (2)

Ján Jovankovič, Milan Žalman

2. Generátor elektromagnetického momentu pohonu s JM

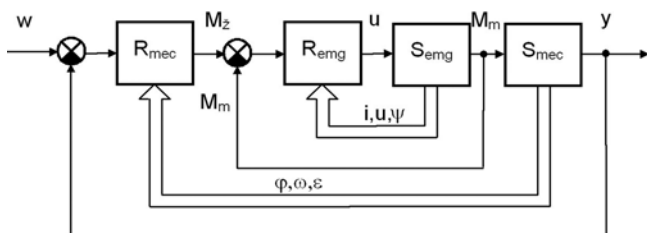
Elektrické motory zabezpečujú transformáciu elektrickej energie na mechanickú. Premenu elektrickej energie na mechanickú umožňuje existencia magnetického (točivého) poľa. Mechanickú energiu charakterizujú kinematické veličiny rotačného (moment, uhlová rýchlosť, poloha), resp. translačného (sila, rýchlosť presunu, poloha) pohybu. Na kvalitu elektromechanickej konverzie má značný vplyv aj interakcia menič – motor, ktorú v našich prípadoch budeme idealizovať (činnosť meniča budeme chápať ako lineárnu spojitú sústavu).

Regulačné štruktúry elektrických pohonov vo všeobecnosti delíme podľa kinematických veličín do troch hlavných skupín:

1. **Momentové štruktúry riadenia** – aplikujú sa v reguláciách ťahových systémov, mixérov, navíjačiek a pod. Okrem toho práve momentová štruktúra tvorí aj jadro pre dobré dynamické riadenie pohonov.
2. **Rýchlostné štruktúry riadenia** – aplikujú sa v riadení ventilátorov, čerpadiel, kompresorov, dopravníkov, dopravných prostriedkov atď.
3. **Polohové štruktúry riadenia** – aplikujú sa v riadení priemyselných robotov, CNC a obrábacích strojov, mobilných robotov, navigačných zariadení atď.

Riadenie momentu motora

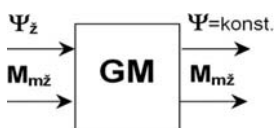
Väčšina súčasných štruktúr ťahových, rýchlostných a polohových servosystémov vychádza zo všeobecnej štruktúry regulačných obvodov (obr. 4), ktorá rešpektuje prirodzený fyzikálny princíp riadenia. V navrhovanom prístupe má jednoznačne najvyššiu prioritu riadenie elektromagnetického subsystému – S_{emg} s regulačným obvodom elektromagnetického momentu motora – R_{emg} . Regulačný obvod momentu realizuje generátor momentu – GM, ktorý tvorí v servosystémoch základný funkčný blok dynamického riadenia elektrických pohonov nezávisle od typu elektrického motora.



Obr.4 Všeobecná štruktúra regulačných obvodov servopohonu

Vo všeobecnom prípade (obr. 5) GM zabezpečuje riadenie momentu a súčasne aj magnetický tok motora. Ďalej budeme analyzovať iba prípady riadenia momentu so zabezpečeným konštantným magnetickým tokom.

O veľkom význame štruktúry generátora momentu (GM) nasvedčuje aj fakt, že všetci výrobcovia meničov majú túto štruktúru predprogramovanú a povoľujú len výnimocne zasahovať a upravovať jej parametre. GM môžeme nahradiť prenosom prvého rádu (1). Úlohou je zabezpečiť požadovaný krútiaci moment M_m na hriadeľ motora za čo možno najkratší čas.



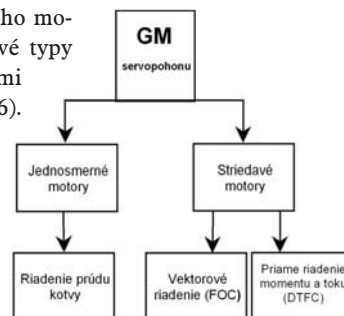
Obr.5 Vstupné a výstupné parametre GM

$$G_M(s) = \frac{M_m(s)}{M_m^*(s)} = \frac{1}{T_{GM}s + 1} \quad (1)$$

Časová konštanta T_{GM} sa pohybuje rádovo $<0,1$ až 1 ms.

Generátor elektromagnetického momentu (GM) sa pre jednotlivé typy motorov zabezpečujú rôznymi riadiacimi štruktúrami (obr. 6).

V jednosmerných servosystémoch s JM sa realizuje regulačným obvodom prúdu kotvy JM. Pri striedavých pohonoch sú štruktúry generácie momentu o niečo zložitejšie. Pri frekvenčných meničoch sú najzaujímavejšie vektorové štruktúry riadenia (FOC), prípadne priame riadenie momentu a toku (DTFC).



Obr.6 Riadiace štruktúry GM pre jednosmerné a striedavé motory

Jednosmerné motory s permanentnými magnetmi

Vlastnosti JM s PM:

- nevznikajú Joulove straty vo vinutí budiaceho obvodu,
- využitie priestoru je lepšie a konštrukcia viacpólových strojov je jednoduchšia,
- magnetický obvod statora vychádza menší, čím sa znižuje aj vonkajší priemer motora,
- konštantný magnetický tok,
- nemožno odbudzovať motor, rozsah rýchlosti je obmedzený $\omega \leq \omega_n, U \leq U_n$,
- veľká momentová dynamická preťažiteľnosť $M_{max} \leq (5 - 10)M_n$,
- obmedzenie výkonu je rádové $P_{max} = 10$ kW.

Pre JM s konštantným budením platia tieto vzťahy:

$$u = R_m i + L_m \frac{di}{dt} + u_i \quad M_m - M_z = M_d = J \frac{d\omega}{dt} = J\varepsilon$$

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad C_u = C' \varphi$$

$$u_i = C_u \omega \quad M_m = C_u i \quad (2)$$

kde i, u – prúd a napätie kotvy, R_m, L_m – odpor a indukčnosť, u_i – indukované napätie, M_m, M_z – moment motora a moment záťaž, J – moment zotrvačnosti motora, $\varepsilon, \omega, \varphi$ – uhlové zrýchlenie, rýchlosť a uhol natočenia hriadeľa rotora, (mechanické veličiny), $T_e = L_m/R_m$ – elektrická časová konštanta, $C' = p' N_m / 2\pi a$ – konštrukčná konštanta stroja, p' – počet pólových dvojíc, N_m – počet závitov vinutia kotvy, a – počet paralelných vetví vinutia kotvy.

Tranzistorový menič

Riadenie motora zabezpečujeme pomocou meniča. Pre jednosmerné motory s nižším výkonom sa používajú tranzistorové meniče, zatiaľ čo pri vysokom výkone sa používajú tyristorové meniče, ktorých súčasťou je aj riadenie budiacich obvodov. Tranzistorový menič je riadený akčný člen, ktorého strednú hodnotu výstupného napätia alebo prúdu riadime pomocou šírkoimpulznej modulácie ŠIM – PWM (pulse width modulation).

Dynamický model tranzistorového meniča sa posudzuje spolu so záťažou, ktorú tvorí v jednosmerných servopohonoch kotva

JM. Vzájomná interakcia TM-JM sa prejavuje v tvare záťažných charakteristík, ktoré sú v oblasti malých prúdov značne nelineárne. Na regulačné účely sa využíva najčastejšie lineárny spojitý model TM v tvare:

$$F(s) = \frac{U_s(s)}{U_r(s)} = \frac{K_{TM}}{1 + T_d s} \quad (3)$$

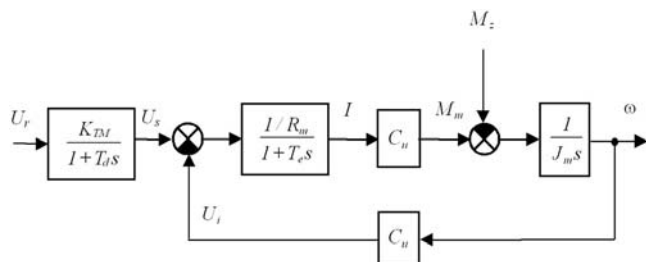
kde K_{TM} je zosilnenie tranzistorového meniča, T_d – dopravné oneskorenie vyjadrené vzťahom $T_d = T/2$ pričom $T = 1/f$ je takt (perióda) meniča a f – frekvencia ŠIM, spínacia frekvencia meniča.

Pri hodnotách frekvencie spínania IGBT tranzistorov v rozsahu rádovo 1 až 10 kHz, časová konštanta meniča T_d dosahuje hodnotu 0,5 – 0,05 ms.

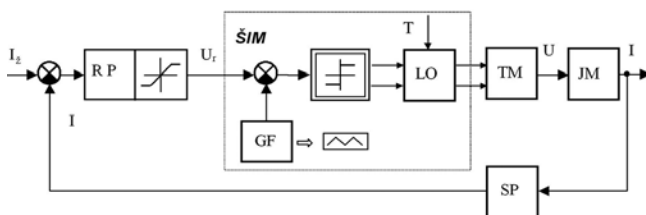
Dynamický model TM-JM môžeme vyjadriť blokovou schémou na obr. 7.

Podľa typu regulátora prúdu môže byť regulačný obvod prúdu kotvy realizovaný s:

- lineárnym PI (I) regulátorom (obr. 8),
- nelineárnym – hysteréznym dvojpohovým regulátorom.



Obr.7 Dynamický model TM-JM s cudzím konštantným budením



Obr.8 Bloková schéma lineárneho regulátora prúdu

Návrh číslicového IP regulátora prúdu metódou rozmiestnenia pólov

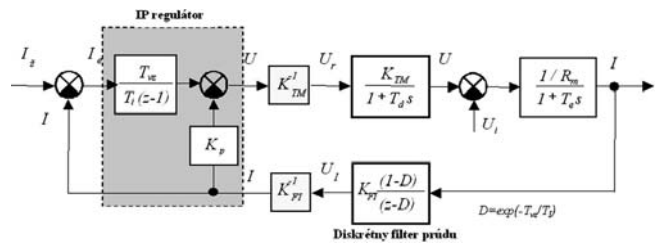
Súčasný signálne procesory majú dostatočný potenciál na realizáciu číslicových regulačných obvodov. Na riadenie stavových veličín servopohonov sa osvedčili IP štruktúry regulačných obvodov v kombinácii so syntézou parametrov pomocou metódy rozmiestnenia pólov (pole-placement). Jediné kritérium pri syntéze je dosiahnutie maximálneho pásma priepustnosti servopohonu. Na obr. 9 je číslicová realizácia IP regulátora prúdu s periódou vzorkovania T_{vz} .

Na výpočet parametrov regulátora sú vo všeobecnosti nastaviteľné dva riadiace parametre:

- vlastná frekvencia – pásmo priepustnosti – $\omega_o = 2\pi f_o$
- koeficient tlmenia – b .

Pásmo priepustnosti vplýva na dynamiku sústavy, preregovanie a čas regulácie. Čím volíme pásmo priepustnosti väčšie, tým má pri konštantnom tlmení systém vyššiu dynamiku. Na druhej strane koeficient tlmenia vplýva najmä na veľkosť preregovania a v menšej miere aj na dynamiku systému. Čím menší je koeficient tlmenia, tým je pri konštantnom pásme priepustnosti väčšie preregovanie a mierne rýchlejšia doba nábehu.

Pri návrhu budeme uvažovať aj dynamiku akčného člena a filtra prúdu. Bloky K_{TM}^{-1} a K_{FI}^{-1} sú kompenzačné bloky zosilnenia meniča a snímača prúdu. Parametre IP regulátora odvodíme pre na-



Obr.9 Číslicová realizácia regulačného obvodu prúdu systému TM-JM

sledujúci spojitý lineárny systém (filter prúdu uvažujeme ako sústavu 1. rádu s časovou konštantou T_{FI}):

$$\frac{I(s)}{U(s)} = \frac{1/R_m}{(1 + T_d s)(1 + T_e s)(1 + T_{FI} s)} \approx \frac{1/R_m}{(1 + T_{\Sigma} s)(1 + T_e s)} \quad (4)$$

Časové konštanty filtra prúdu T_{FI} a meniča T_d patria medzi vysokofrekvenčné a z hľadiska frekvenčných vlastností ich nahradíme jednou súčtovou konštantou $T_{\Sigma} = T_{FI} + T_d$.

Prenos uzavretého obvodu s IP regulátorom prúdu je vyjadrený vzťahom (5).

$$\frac{I(s)}{I_{ref}(s)} = \frac{1}{T_i R_m T_{\Sigma} T_e} \frac{1}{s^3 + \frac{T_{\Sigma} T_e}{(T_{\Sigma} + T_e)} s^2 + \frac{K_p + R_m}{R_m T_{\Sigma} T_e} s + \frac{1}{T_i R_m T_{\Sigma} T_e}} \quad (5)$$

Nech charakteristický polynóm má jeden reálny a dva komplexne združené póly ($s_2 + 2b\omega_0 s + \omega_0^2$)($s + \omega_0$). Porovnaním konštánt polynómov pri rovnakých mocninách získame parametre IP regulátora a vlastnej frekvencie (ktorú v tomto prípade nevolíme – volíme iba tlmenie systému b).

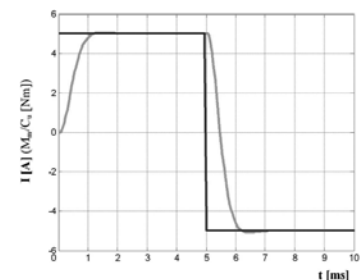
$$\begin{aligned} s^3 + \frac{T_{\Sigma} T_e}{(T_{\Sigma} + T_e)} s^2 + \frac{K_p + R_m}{R_m T_{\Sigma} T_e} s + \frac{1}{T_i R_m T_{\Sigma} T_e} &= \\ = s^3 + (2b\omega_0 + \omega_0) s^2 + (2b\omega_0^2 + \omega_0^2) s + \omega_0^3 & \\ \omega_0 = \frac{(T_{\Sigma} + T_e)}{T_{\Sigma} T_e (2b + 1)} \quad \frac{1}{T_i} = \omega_0^3 R_m T_{\Sigma} T_e & \\ K_p = (2b\omega_0^2 + \omega_0^2) R_m T_{\Sigma} T_e - R_m & \end{aligned} \quad (6)$$

Príklad s JM HSM150

HSM 150 je jednosmerný motor s PM s výkonom 150 W. Ak uvažujeme identifikované parametre motora a meniča: $R_m = 0,65 \Omega$, $T_d = 0,05$ ms, $C_u = 0,0458$ Vs, $T_e = 0,138$ ms, $J = 1,2e - 4$ kg.m², $T_{FI} = 0,1$ ms.

Potom podľa vzťahu (6) pre $b = 1$ získame: $\omega_0 = 4,6377e + 3$ rad/s (738,11 Hz), $T_i = 0,7451$ ms, $K_p = 0,282$ V/A.

Obr. 10 zobrazuje priebeh prúdu pre skok žiadanej hodnoty z 5 na -5 A. Pri ďalších úvahách pre zvolenú sústavu by sme mohli prenos GM nahradiť sústavou 1. rádu s jednotkovým zosilnením a časovou konštantou $T_{GM} = 0,55$ ms.



Obr.10 Priebeh prúdu (momentu) GM systému TM – JM s PM

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

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

40