

Journal of Cybernetics and Informatics

published by

**Slovak Society for
Cybernetics and Informatics**

Special Issue

**"New Trends in Education of Automation
and Information Technology"**

2004

**NOVÉ TRENDY VO VÝUČBE A VÝSKUME POHYBOVÝCH
SYSTÉMOV, Žalman M., Jovankovič J., Bélai I., 74-82**

<http://www.sski.sk/casopis/index.php> (home page)

ISSN: 1336-4774

NOVÉ TRENDY VO VÝUČBE A VÝSKUME POHYBOVÝCH SYSTÉMOV

Žalman, M., Jovankovič, J., Bělai I.

Fakulta elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave

milan.zalman@stuba.sk

Abstrakt V príspevku sú uvedené súčasné trendy výučby a výskumu pohybových systémov, ktoré sa vo výučbe realizujú v študijnom odbore Automatizácia. v predmetoch bakalárskeho štúdia Akčné členy a Servopohony a v inžinierskom štúdiu v predmete Inteligentné servosystémy na FEI STU v Bratislave. Výsledky výskumných úloh sú prezentované z oblasti návrhu riadenia Master-Slave polohového servosystému.

Kľúčové slová: Riadenie pohybu, pohybový systém, servopohon, Inteligentný pohybový systém, Master-Slave riadenie. metóda – pole placement, koeficienty regulačnej odchýlky

1 ÚVOD

Vo výučbe na FEI STU v Bratislave v študijnom odbore Automatizácia sa problematika pohybových systémov realizujú v predmetoch bakalárskeho štúdia Akčné členy a Servopohony a v inžinierskom štúdiu v predmete Inteligentné servosystémy. Podrobnosti o študijnom programe a obsahu náplní uvedených predmetov je možné nájsť na webovskej stránke www.kar.elf.stuba.sk/servo. V úvodnej časti príspevku je preto venovaná pozornosť hlavne vydefinovaniu základných pojmov a oblastí, ktoré sa v uvedených predmetoch vyučujú.

Výskum pohybových systémov sa realizuje hlavne formou riešených výskumných úloh a výsledky sú predovšetkým publikované v doktorských dizertačných prácach a na medzinárodných vedeckých konferenciách. Predmetom výskumnej činnosti pre nové generácie pohybových systémov CNC rezacích strojov bol návrh riadiacich algoritmov a riadiacich štruktúr viacosových inteligentných servosystémov. Z tejto oblasti výskumu prezentujeme v ďalšej časti niektoré pôvodné návrhy v oblasti riadenia Master-Slave.

2 RIADENIE POHYBU - MOTION CONTROL

Riadenie pohybu - motion control je multidisciplinárna oblasť techniky, ktorá obsahuje vedecké poznatky z oblasti teórie elektrických strojov- elektromechanickú konverziu, výkonovej elektroniky, riadiacej elektroniky, teórie automatického riadenia a informačnej techniky.

Pohybový systém - akčný člen v mechatronickom systéme, ktorý transformuje elektrický vstup na mechanický výstup daný polohou, rýchlosťou, momentom alebo silou. Prenosová energia je buď elektrická, pneumatiká alebo hydraulická

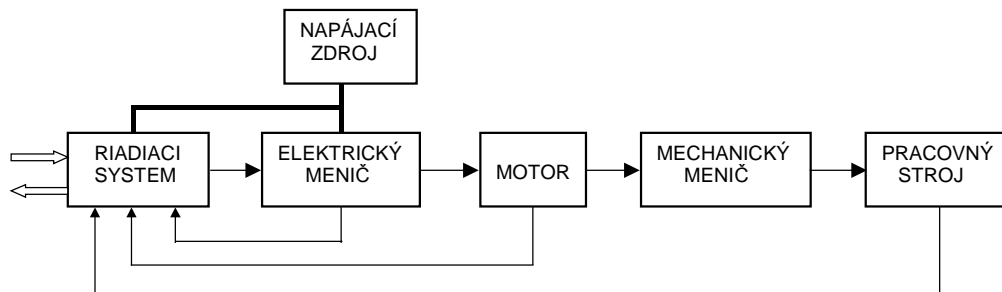
Pohybový mechatronický systém môžeme definovať ako integráciu:

- **mechanických častí** (strojárenské systémy, mechanika, a mechanické zariadenia)
- **elektronických častí** (mikroelektronika, silnoprúdová elektronika, meracia technika a technológia pohonov)
- **informačnej technológie** (teória systémov, automatizácia, softvérové inžinierstvo, umelá inteligencia)

2.1 Elektrický pohon – servopohon

- Elektrické pohony sú v súčasnosti chápané ako súčasť systémov riadenia pohybu. Oblasť riadenia pohybu zahŕňa všetky pohybové systémy od miniatúrnych ako sú mikromotory až po riadenie veľkých motorov v energetike. Systémy riadenia pohybu sa uplatňujú vo všetkých oblastiach výroby, ale aj nevýrobnej sféry napr. zdravotníctvo, služby a domácnosť. Najnižšiu úroveň riadenia pohybového systému tvorí servopohon. V typických aplikáciách prevládajú elektrické servopohony, pričom sú známe aj elektrohydraulické, elektropneumatické pohony. V poslednom desaťročí zaznamenávajú prudký rozvoj striedavé servopohony s asynchrónnymi a synchronnými motormi. Elektrické pohony - elektromechanické riadené meniče energie, veľký význam vo väčšine technologických a výrobných procesov.

Servopohon je možné posudzovať ako relatívne autonómny systém s vnútorne usporiadanou kombináciou subsystémov. Tieto sú tvorené vlastnosťami pracovných mechanizmov, mechanických meničov, motorov, elektrických meničov, napájacích zdrojov a riadiaceho systému pohonu. Počet a druh týchto subsystémov a ich usporiadanie závisí na konkrétnom type servopohonu. Typické usporiadanie jednomotorového servopohonu je na obr.1



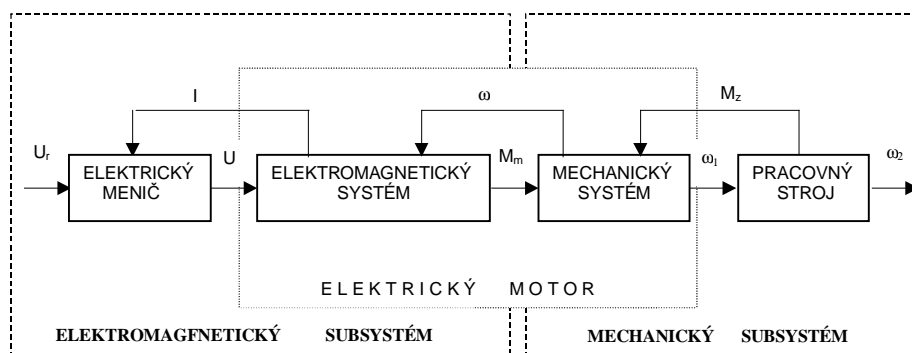
Obr.1 Základná štruktúra elektrického jednomotorového servopohonu

Z charakteristiky servopohonu vyplýva, že pohon realizuje tok energie a jednak tok informačných signálov. Vyšetrovanie pohonu z hľadiska toku energie vedie k návrhu a projektovaniu výkonovej časti pohonu (el. menič - motor - mechanický menič). Výkonové dimenzovanie umožňuje dosiahnuť optimálne energetické ukazovatele pohonu. Vyšetrovanie informačných signálov umožňuje sledovať a navrhovať chovanie pohonu v prechodných a ustálených stavoch. Riadiaci systém obsahuje merací, regulačný, ovládací, monitorovací a diagnostický subsystém. Syntézou riadiacich obvodov sa zaisťuje požadovaná kvalita riadenia pohonu v dynamických a statických stavoch

Skutočná štruktúra servopohonu je však zložitejšia a zahrňuje aj napájaciu časť, ovládaciu logiku, ochrany proti preťaženiu, signalizáciu, monitorovanie, styk s obsluhou, s nadradeným systémom a pod. Veľká rozmanitosť konkrétnych štruktúr je daná veľkým počtom rôznych druhov motorov (jednosmerné, asynchrónne, krokové motory), akčných a meracích členov, riadiacich systémov.

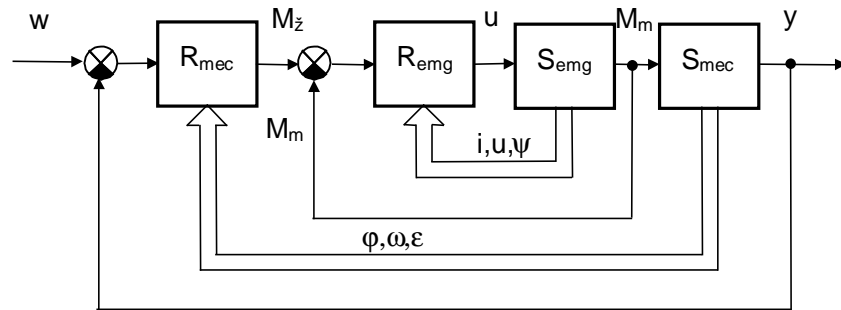
Regulované veličiny servopohonov môžeme rozdeliť podľa obr.2 do nasledovných kategórií:

- **veličiny mechanického subsystému S_{me} (kinematické a mechanické veličiny):** uhol natočenia hriadeľa- j , uhlová rýchlosť- w , uhlové zrýchlenie- e , moment motora- M_m , sila- F , výkon - P .
- **veličiny elektromagnetického systému S_{me} (elektrické a magnetické veličiny):** prúd- i , napätie- u , frekvencia prúdu alebo napätia- f , účinník- $\cos j$, magnetický tok- F .



Obr.2 Dekompozícia výkonovej časti servopohonu na subsystémy

Týmto kategóriám potom zodpovedá aj všeobecná štruktúra regulačných obvodov servopohonu, obr.3. Regulačný obvod elektromagnetického momentu motora (generátor momentu) tvorí základ regulačného systému. Jeho regulačný systém je označený blokom R_{emg} . Hlavné regulačné obvody tvorí regulačný systém mechanického systému R_{mec} .



Obr.3 Všeobecná štruktúra regulačných obvodov servopohonu

2.2 Inteligentný pohybový systém

V inteligentných systémoch sa regulátor prispôbuje nelineárnemu správaniu (**adaptácia**) a pamätá si parametre regulátora v závislosti na polohe a záťaži (**učenie**), dohliada na všetky dôležité prvky a vykonáva diagnostiku (**monitorovanie**) na pokyn obsluhy alebo v prípade vzniku nebezpečnej poruchy sa rozhoduje podľa špeciálneho režimu pre havarijnú činnosť.

Nižší stupeň „inteligencie“ : schopnosť modelovať, rozhodovať a učiť proces s jeho automatickými vlastnosťami v danom rámci tak, aby bol jeho riadením dosiahnutý určitý cieľ.

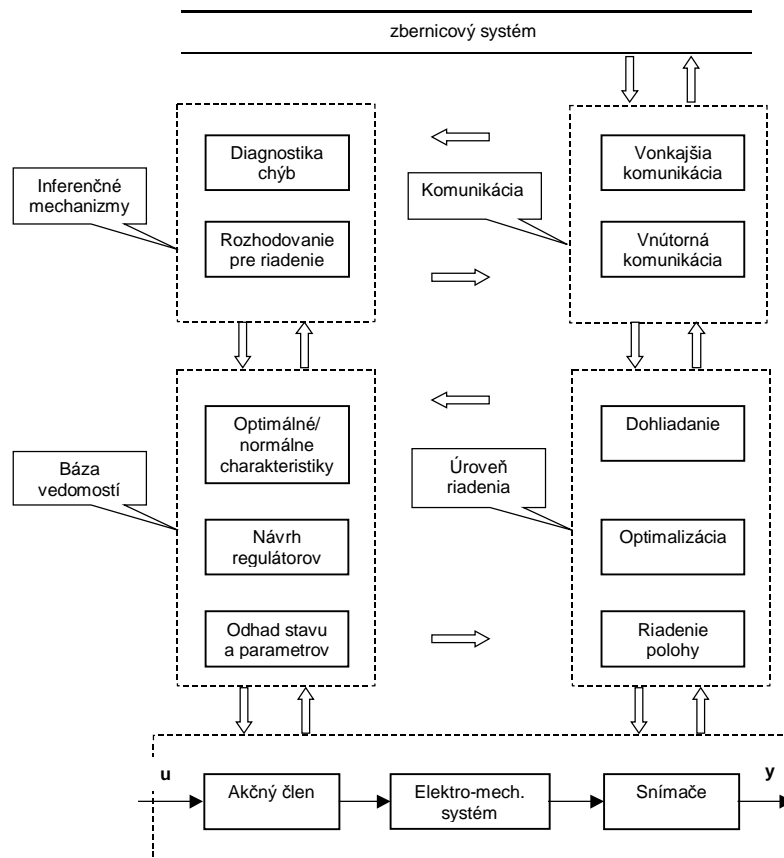
Automatizáciu činností inteligentného riadiaceho systému je možné realizovať vo viacerých úrovniach, obr.4:

- **báza vedomostí**
 - analytické znalosti (odhad parametrov/stavu, metódy návrhu regulátorov)
 - heuristické znalosti (referenčné príznaky, stromy chýb)
- **inferenčný mechanizmus**
 - rozhodovanie pre účely adaptívneho riadenia
 - rozhodovanie pre účely monitorovania a diagnostiky
- **komunikácia**
 - vnútorná: s vnútornými modulmi
 - vonkajšia: s ostatnými prvkami a centrálnym počítačom

Základné výhody použitia regulátorov a pozorovateľov na báze umelej inteligencie v elektrických pohonoch je možné charakterizovať nasledovne:

- návrh nepožaduje znalosť matematického modelu systému
- Môžu viesť k lepším vlastnostiam (keď sú vhodne naladené)
- Môžu byť navrhnuté na základe lingvistických expertných informácií, alebo použitím zoskupovania (clustering) alebo iných metód
- Môžu požadovať menšie úsilie pri ladení ako bežné regulátory
- Môžu byť navrhnuté na báze nameraných údajov, ak nie sú prístupné potrebné expertné informácie
- Pri návrhu môžeme použiť kombináciu lingvistických a nameraných informácií
- Môžu viesť k extrémne dobrému zovšeobecneniu (dávajú dobré výsledky, aj keď sú použité nové neznáme vstupné údaje)
- Ľahšie je možné navrhnuť tieto regulátory adaptívne začlenením nových dostupných dát alebo informácií
- Môžu poskytovať riešenie na riadenie problémov, ktoré nie je možné riešiť konvenčnými metódami
- Preukazujú dobré vlastnosti pri potláčaní šumu

- Ich implementácia nie je finančne náročná, najmä ak je použitá minimálna konfigurácia
- Lahko sa rozširujú a modifikujú



Obr.4 Inteligentný pohybový systém - expertný systém pracujúci v reálnom čase

Významné práce z tejto oblasti výskumu za posledné roky sú zhrnuté v doktorských dizertačných prácach:

V práci J. Jovankovič (2003) sú rozpracované oblasti aplikácia prostriedkov umelej inteligencie v modelovaní a riadení AM:

- Aplikácia prostriedkov UI v striedavých servosystémoch s obmedzenou merateľnosťou stavových veličín
- Návrh „sensorless“ rýchlostného servopohonu s AM s aplikáciou prostriedkov UI
- Vypracovanie metodiky návrhu virtuálneho snímača vektora magnetického toku rotora a uhlovej rýchlosti pomocou prostriedkov UI.

V práci M. Abelovský (2004) sú rozpracovaný návrh a realizácia pozorovateľov stavových veličín rýchlostných bezsnímačových servopohonov s AM s kotvou nakrátko:

- Návrh metodiky syntézy samonastavujúcich algoritmov regulátorov rýchlostného servopohonu s AM
- Analýza metód pozorovania magnetického toku rotora a uhlovej rýchlosti motora pre systémy s obmedzenou pozorovateľnosťou.
- Návrh a realizácia pozorovateľov magnetického toku rotora a uhlovej rýchlosti rýchlostného servopohonu s AM s obmedzenou pozorovateľnosťou mechanických veličín.

3 MASTER-SLAVE RIADENIE

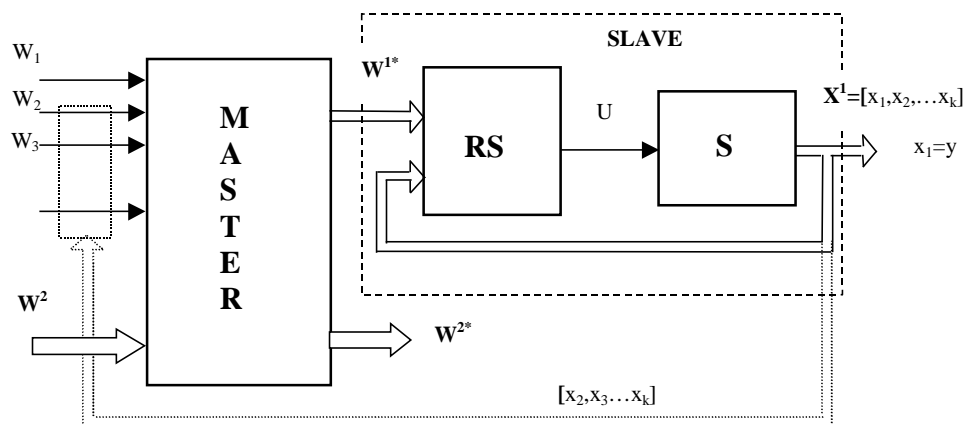
Výskum novej generácie pohybových systémov CNC rezacích strojov využíva princípy Master-Slave riadenia. Master slave riadenie môžeme zaradiť medzi stavové riadenie alebo riadenie pomocou modelu, obr.5. Charakteristika jednotlivých častí:

Master:

- Generátor riadiacej stavovej veličiny
- Vektor riadenia môže mať väčší počet zložiek ako je počet merateľných veličín
- Generátor vektora riadenia je realizovaný na princípe spätnoväzbového algoritmu alebo priameho algoritmu – programová realizácia
- Pre realizáciu treba poznať parametre „hrubého“ modelu riadenej sústavy

Slave:

Riadiaci systém obsahuje regulátory stavových veličín



Obr.5 Štruktúra systému riadenia MASTER SLAVE

3.1 Master generátor želannej veličiny

Úlohou Master generátora *obr.5* je generovať priebehy želaných stavových veličín (vektor riadenia) na základe poznania parametrov „hrubého“ modelu riadenej sústavy. Rozlišujú sa dva základne prístupy pri formulácii úlohy:

- Mechanický model – trojrozmerný vektor riadenia. Stavové veličiny sú moment, rýchlosť, poloha
- Kinematický model – n- rozmerný vektor riadenia. Stavové veličiny napr. pre štvorrozmerný vektor riadenia sú trh, zrýchlenie, rýchlosť, poloha

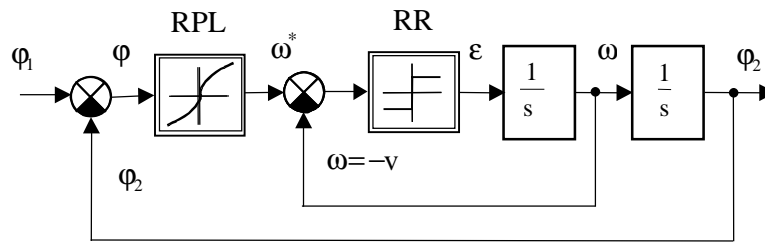
V prípade polohového servosystému sa generujú stavové veličiny želannej polohy, rýchlosti, momentu a trhu pri dodržaní ich maximálnych povolených hodnôt. Vo všeobecnosti vektor riadenia môže mať väčší počet zložiek ako je počet merateľných veličín systému.

Master generátor vektora želannej veličiny je realizovaný na princípe

- spätnoväzbového algoritmu
- priameho výpočtu - programová realizácia

V praxi sú aplikované trojrozmerné a štvorrozmerné vektory riadenia s obdĺžnikovým, trapezoidným alebo sinusoidálnym priebehom zrýchlenia. Master-Slave štruktúra s dobre nastaveným generátorom stavových veličín a dobre zvolenou a naladenou štruktúrou riadenia prináša vysokú kvalitu riadenia pohybu aj pri zmene niektorých parametrov sústavy (napr. momentu zotrvačnosti) a obmedzuje nárazové momenty aj pri použití silne nelineárnych prenosových mechanizmov.

Trojrozmerný vektor riadenia je možné realizovať pomocou spätnoväzbového regulačného obvodu *obr.6*, ktorý obsahuje nelineárny regulátor polohy – RPL (prepnacia krivka) a regulátor rýchlosti RR (funkcia signum).

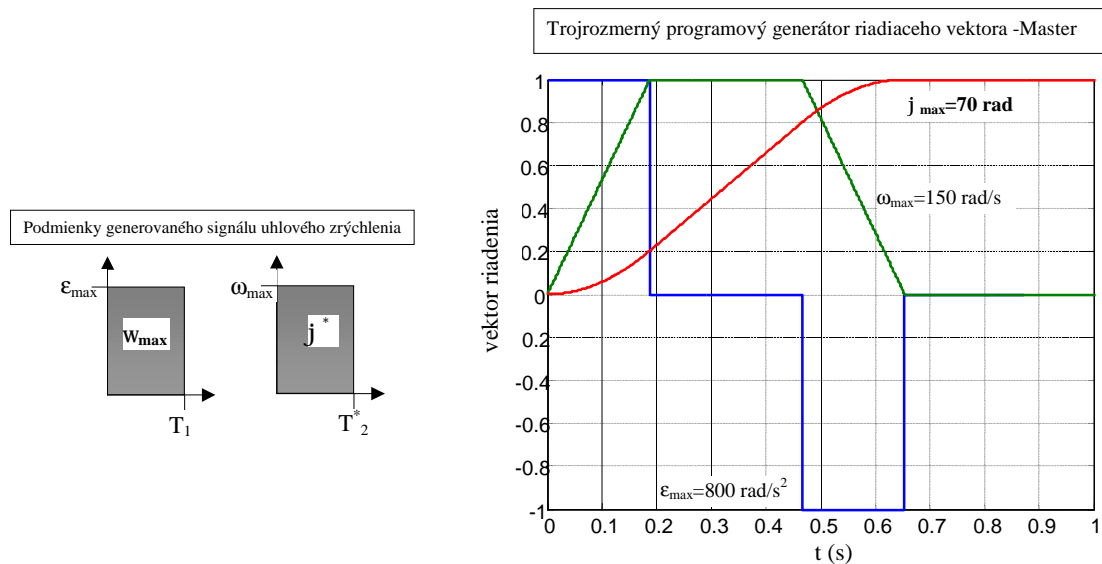


Obr.6 Štruktúra spätnoväzobného 3.rozmerného master generátora

Diskrétna realizácia 3.rozmerného vektora riadenia v prostredí programu Matlab/Simulink, obsahuje riadené integrátory (sumátory) rýchlosti a polohy. Integrátory rýchlosti a polohy sa prepriajú do pamäťového režimu v prípade ak regulačná odchýlka je menšia ako nula. V kanále prepínača je ešte zaradený blok nastaviteľného oneskorenia.

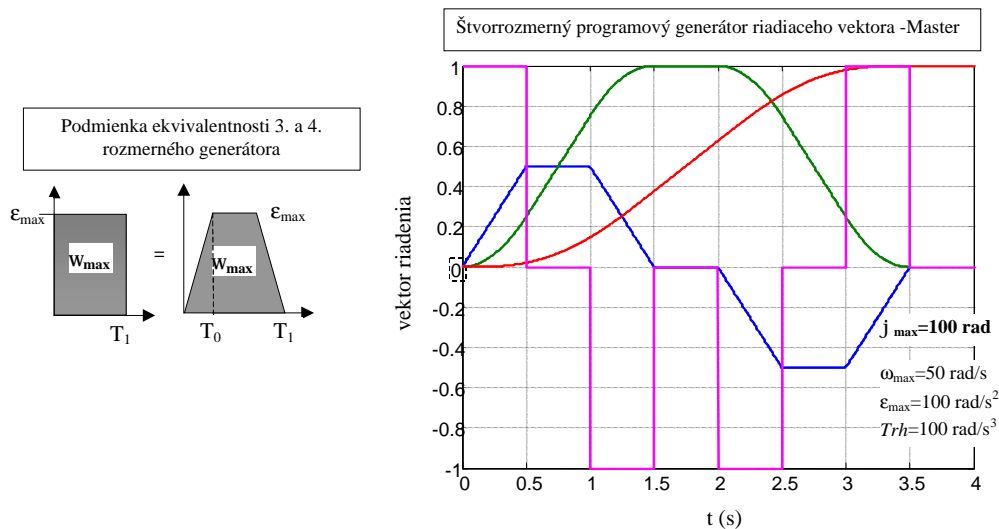
Programovú realizáciu Master generátora je možné riešiť aj analyticky, generovaním iba zrýchlenia pre prípad trojrozmerného vektora resp. trhu pre prípad štvorrozmerného generovania riadiaceho vektora. Základom je odvodenie generovania obdĺžnikového signálu zrýchlenia trojrozmerného vektora, z ktorého je potom možné rozšíriť úlohu na štvorrozmerný resp. iný tvar zrýchlenia, pričom podmienka ekvivalencie bude splnená pri dodržaní rovnakej plochy generovaného signálu uhlového zrýchlenia.

Trojrozmerný programový generátor riadiaceho vektora obr.7. Vstupy pre programovú realizáciu sú: φ^* - želaná poloha, ω_{\max} - maximálne povolená rýchlosť a ϵ_{\max} - maximálne zrýchlenie. V 1. kroku sa vypočítajú časové konštanty $\omega_{\max}/\epsilon_{\max}=T_1$ a $\varphi^*/\omega_{\max}=T_2^*$. Tieto konštanty nám uvádzajú plochu max. zrýchlenia pre získanie max. rýchlosti a plochu max. rýchlosti pre získanie želané polohy.



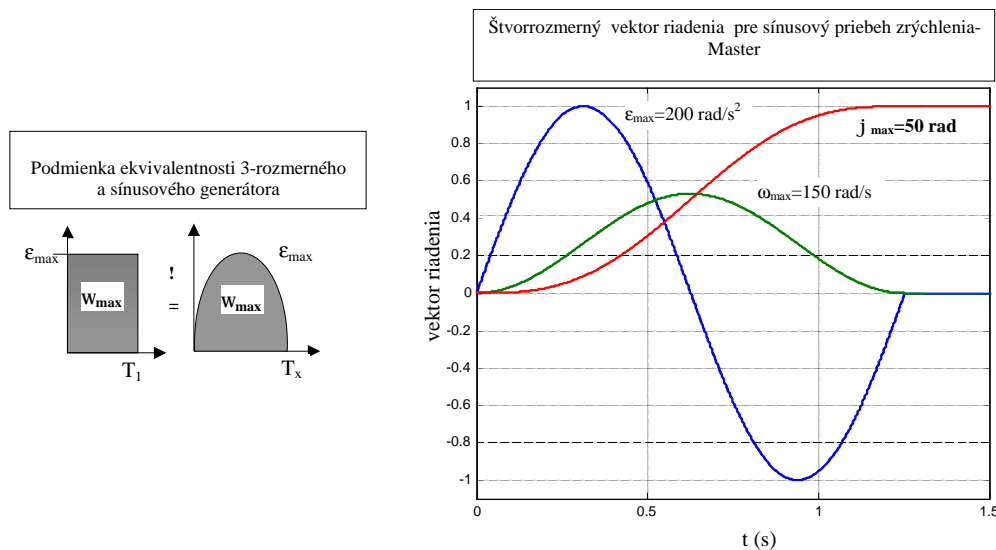
Obr.7

Štvorrozmerný programový generátor želanéj veličiny, obr.8. Vstupy pre programovú realizáciu sú: φ^* - želaná poloha, ω_{\max} - maximálne povolená rýchlosť, ϵ_{\max} - maximálne zrýchlenie a T_{rh} . V 1. kroku sa vypočítajú časové konštanty $\epsilon_{\max}/T_{rh}=T_0$, $\omega_{\max}/\epsilon_{\max}=T_1$ a $\varphi^*/\omega_{\max}=T_2^*$. Generovaním definovaného trhu nám vznikne lichobežníková plocha zrýchlenia, obr.8, ktorá má byť pre ekvivalentnosť rovnaká ako obdĺžniková plocha 3. rozmerného generátora.



Obr.8

Štvorrozmerný programový generátor so sínusovým priebehom zrýchlenia, obr.9 je odvodený z podmienky rovnosti plochy obdĺžnikového zrýchlenia s polperiódou sínusového priebehu .



Obr.9

3.2 -Master- Slave systém – polohový servosystém

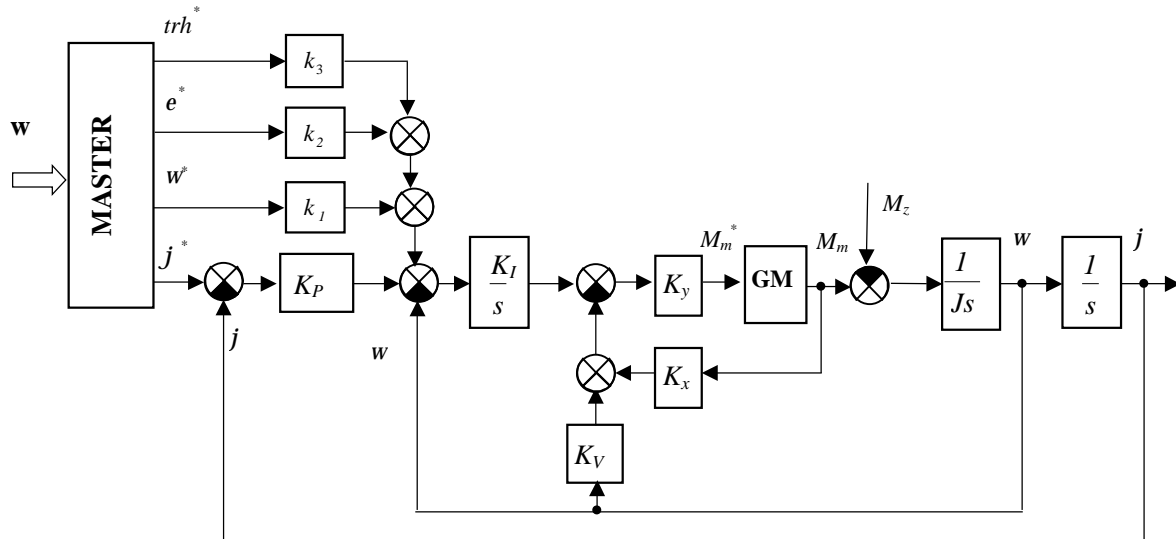
PIVD štruktúra polohového servosystému, obr.10 vychádza z požiadavky navrhovať "inteligentne" parametre algoritmu riadenia. Z metód návrhu regulátorov bola úspešne aplikovaná metóda umiestňovania pólov – **pole placement** prenosovej funkcie riadenia polohového servopohonu. V štruktúre riadenia polohového systému sa vychádza z predpokladu, že obsahuje autonómny generátor momentu- GM. Algoritmus riadenia polohového servosystému obsahuje aj slučku s regulátorom rýchlosti - IVD, ktorého parametre sa navrhujú súčasne s parametrami regulátora polohy- P.

Pri neuvažovaní dynamiky GM- generátora momentu, je charakteristický polynóm systému 3.rádu a koeficienty PIV algoritmu sa vypočítajú zo vzťahov

$$K_p = \frac{w_0}{2x + 1} \tag{1}$$

$$K_I = w_0^2 (2x + 1) \tilde{J} \quad \text{následne koeficienty sú definované vzťahmi:} \quad K_x = 0$$

$$K_v = w_0 (2x + 1) \tilde{J} \quad K_y = 1$$

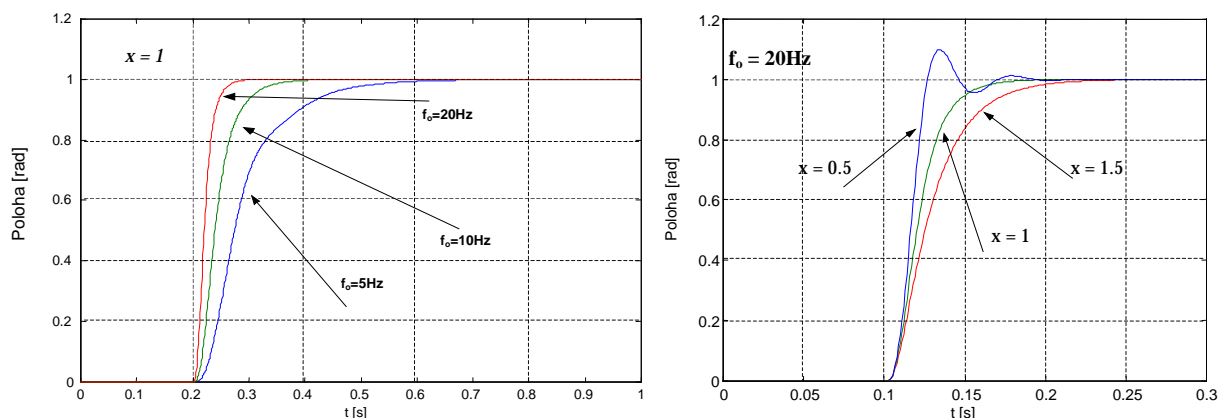


Obr. 10 Bloková schéma master-slave PIVD polohového servopohonu

Pre výpočet parametrov PIV regulátora sú potrebné dva riadiace parametre:

- pásmo priepustnosti - $w_o = 2p f_o$
- koeficient tlmenia - x

Pásmo priepustnosti vplyva na dynamiku sústavy, prerégulovanie a čas regulácie. Čím volíme väčšie pásmo priepustnosti, tým má pri konštantnom tlmení systém vyššiu dynamiku. Na druhej strane koeficient tlmenia vplyva najmä na veľkosť prerégulovania a v menšej miere aj na dynamiku systému. Čím menší je koeficient tlmenia, tým je pri konštantnom pásme priepustnosti väčšie prerégulovanie a mierne rýchlejšia doba nábehu. Pre výpočet parametrov regulátora potrebujeme okrem týchto dvoch parametrov poznať aj parametre hrubého modelu mechanického subsystému: moment zotrvačnosti \tilde{J} a koeficient viskózneho trenia B' . Vplyv pásma priepustnosti a koeficientu tlmenia na dynamiku sústavy môžeme posúdiť na priebehoch, obr.11.



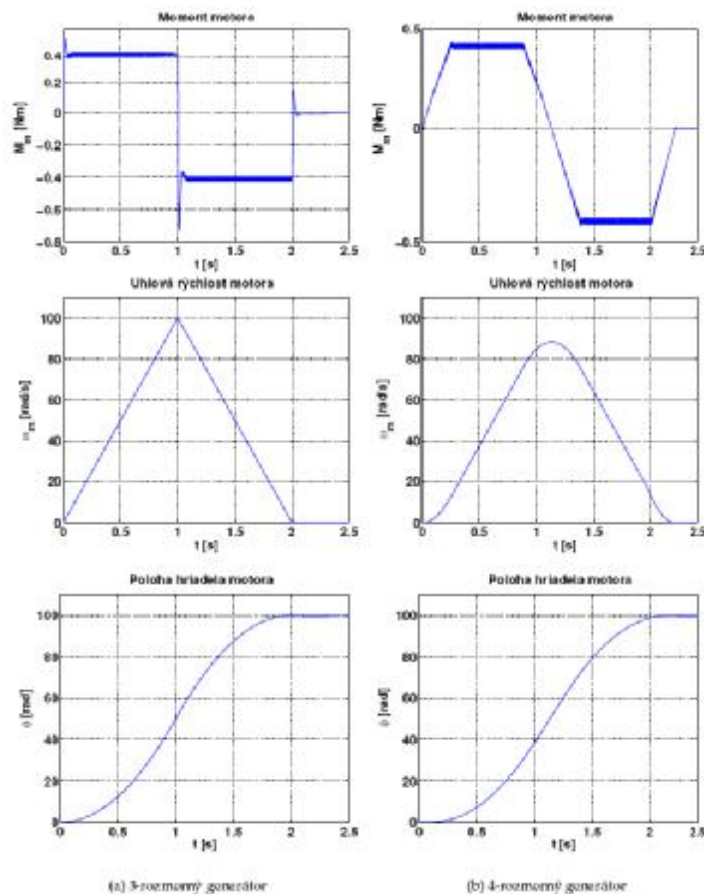
Obr.11 Vplyv veľkosti pásma priepustnosti a koeficienta tlmenia na kvalitu regulácie

Nuly prenosovej funkcie riadenia, ktoré zabezpečujú presnosť sledovania riadiacich signálov, môžu byť nastavované pomocou predikčných väzieb master generátora, obr.10. Koeficienty k_1, k_2, k_3 sa vypočítajú z požiadavky nulových koeficientov regulačnej odchýlky. Odvođené vzťahy platia ak koeficienty regulátora PIV sú vypočítané metódou pole placement.

$$k_1 = 1, \quad k_2 = \frac{1}{w_0}, \quad k_3 = \frac{J}{K_I} \quad (2)$$

Vlastnosti master-slave polohového servopohonu so synchronným motorom s permanentnými magnetmi - SMPM dokumentujú priebehy získané zo simulačného experimentu, obr.12 .

Výskum inteligentných pohybových systémov bol v rokoch 2000-2002 súčasťou grantového projektu VEGA 1/7628/ s názvom: „Inteligentné mobilné robotické systémy“ a od roku 2003 je súčasťou grantového projektu VEGA 1/0153/03 s názvom: „Vyššie formy riadenia mechatronických systémov“.



Obr.12

4 LITERATÚRA

- M. Abelovský (2004): Pozorovatele stavových veličín bezsnímačových servopohonov s AM, FEI STU
 Bobál V., Bohm J., Prokop R., Fessler J., (1999): Praktické aspekty samočinne sa nastavujúcich regulátorů VUT Brno
 J. Jovankovič (2003): Aplikácia umelej inteligencie v riadení striedavých pohybových systémov, FEI STU,
 Leonhard W. (1996): Control of Electrical Drives, Springer, Verlag
 Peter Vas (1999): Artificial - Intelligence - based electrical machines and drives, Oxford University Press
 P.E. Wellstead, M.B.Zarrop (1991): Self-tuning systems, control and signal processing, John Wiley&Sons
 Žalman M. (2003): Akčné členy, STU Bratislava