

Sledovanie žiadanej hodnoty polohy v systémoch s premenlivou štruktúrou

Ján Kardoš

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá analýzou presnosti sledovania žiadanej hodnoty v systémoch riadenia polohy s premenlivou štruktúrou (VSS) s kĺzavým režimom v podmienkach parametrickej neurčitosti. Vyšetrovaný je špecifický algoritmus riadenia – časovo suboptimálne riadenie, ktoré možno chápať ako robustifikáciu pôvodne deterministickej metódy časovo optimálneho riadenia založenú na princípoch teórie VSS. Teoretické výsledky, ktoré zohľadňujú parametrické poruchy a obmedzenie akčnej veličiny, sú ilustrované simuláciami v prostredí MATLAB.

Kľúčové slová: riadenie s premenlivou štruktúrou (VSC), kĺzavý režim, časovo suboptimálne riadenie polohy, sledovanie trajektórií, parazitné autooscilácie (chattering)

Úvod

Pri riadení polohy v reálnych pohybových systémoch si riadiaci systém musí niekedy poradiť s výrazne premenlivou dynamikou riadeného objektu. Typickým príkladom je polohovanie manipulačného robota, keď pri vystieraní ramena rastie moment zotrvačnosti rotujúcich hmôt kinematického reťazca úmerne so štvorcom vzdialenosti od osi rotácie a pri uchopení alebo uvoľnení bremena sa mení dokonca skokom. To spôsobuje veľký rozsah amplitúdy a neurčitost' frekvenčného spektra parametrickej poruchy v časových konštantách pohonného systému robota. Ak napriek tejto parametrickej neurčitosti vyžadujeme na pracovisku robota krátku dobu prechodu medzi dvoma pracovnými polohami a ak vezmeme do úvahy prirodzené obmedzenie fyzikálnych veličín pohonného systému robota je zrejmé, že riadiaci systém nevystačí s algoritmi založenými na klasickej teórii riadenia.

Efektívne riešenie vysokej dynamickosti a parametrickej robustnosti pohybového systému ponúkajú nelineárne metódy riadenia. Patria sem aj systémy s premenlivou štruktúrou [4], [5], [6], [7], ktoré využívajú rezervu vo výkone systému, a v kĺzavom režime (sliding mode) vnúti riadenej veličine robustné správanie sa.

V práci [3] je uvedená metóda PTP riadenia polohy - tzv. časovo suboptimálne riadenie, ktoré pre dané obmedzenie akčného zásahu a pri parametrickej poruche v časovej konštante zaručuje rýchly a robustný prechod riadenej polohy medzi dvoma hodnotami, pričom tvar trajektórie prechodu nie je dôležitý. Robustnosť spočíva v zachovaní najkratšej možnej doby prechodu a nulového preregulovania (pri riadení polohy robota môže mať preregulovanie fatálne následky pre robot aj pre jeho okolie) napriek poruchám a obmedzeniam v systéme.

Cieľom tohto príspevku je analyzovať schopnosti pohybových systémov s premenlivou štruktúrou pri sledovaní žiadanej hodnoty riadeného signálu a overiť využitie t-suboptimálneho riadenia na presné sledovanie trajektórií daných technológiou, na ktorú je robot nasadený.

Systémy s premenlivou štruktúrou a časovo suboptimálne riadenie

Časovo suboptimálne riadenie patrí do kategórie systémov s prepínaním úrovni akčnej veličiny a jeho štruktúra sa zhoduje so štruktúrou časovo optimálneho riadenia deterministických systémov (obrázok 1). Jedinečným fenoménom riadenia s premenlivou štruktúrou je kĺzavý režim, v ktorom zastupujúci bod riadenej sústavy kopíruje prepínaciu plochu (geometrické vyjadrenie prepínacej funkcie) a akčná veličina osciluje vysokou frekvenciou medzi oboma hraničnými hodnotami. Podstata návrhu riadenia systému s premenlivou štruktúrou spočíva vo dvoch krokoch. Prvým krokom je výber prepínacej funkcie $F(\epsilon)$ vo fázovom priestore vektora regulačnej odchýlky ϵ , ktorý zaručí stabilitu a kvalitu riadenia v kĺzavom režime. V druhom kroku sa hľadá taký algoritmus výpočtu akčnej veličiny u , ktorý zabezpečí zachovanie podmienok dosiahnutia kĺzavého režimu na prepínacej funkcii [7].

Výhodou riadenia v kĺzavom režime je parametrická invariantnosť ale aj odolnosť voči signálovým poruchám, vďaka čomu možno aj zložitý systém, ako je manipulačný robot, dekomponovať na jednotlivé stupne voľnosti a metódu syntézy riadenia redukovat' a ilustrovat' na jednom stupni voľnosti, ktorý je opísaný systémom dvoch diferenciálnych rovníc prvého rádu [3]

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \dot{x} \\ \frac{d\dot{x}}{dt} &= \frac{1}{T}(Ku - \dot{x})\end{aligned}\quad (1)$$

kde $x = (x, \dot{x})^T$ je fázový vektor polohy, u je akčná veličina, K je zosilnenie kanála riadenia a $T \in \langle T_{\min}, T_{\max} \rangle$ je premenlivá časová konštanta systému.

Nech x_d je žiadaná hodnota riadenej veličiny x , potom $e = x_d - x$ je regulačná odchýlka polohy. V algoritme časovo suboptimálneho riadenia vystupuje lineárna prepínacia

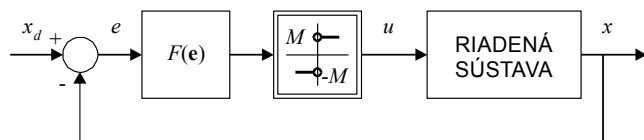
funkcia (2) a jednoduchý algoritmus prepínania akčnej veličiny (3)

$$F(e) = \dot{e} + \alpha e$$

$$\alpha = \frac{1}{T_{\max}(1 - \ln 2)} \quad (2)$$

$$u = M \operatorname{sgn}(F(e)) \quad (3)$$

kde α predstavuje smernicu prepínacej priamky $F(e) = 0$ a $M > 0$ je obmedzenie akčnej veličiny.



Obr.1 Bloková schéma časovo suboptimálneho riadenia
Fig.1 Block diagram of the time sub-optimal control

Riadenie dané výrazmi (2) a (3) zaručí pre ľubovoľnú (skokovú, cyklicky premenlivú a pod.) parametrickú poruchu z intervalu $T \in \langle T_{\min}, T_{\max} \rangle$ a pre ľubovoľnú hodnotu skoku žiadanej polohy x_d rýchly regulačný pochod bez preregulovania, pričom pre lineárnu prepínaciu funkciu ide o riadenie najbližšie možné k t-optimálnemu riadeniu. Nezanedbateľnou výhodou t-suboptimálneho riadenia je jeho jednoduchá implementácia. Akčná veličina je daná znamienkom lineárnej kombinácie regulačnej odchýlky polohy a rýchlosti, ktoré sú bežne snímanými veličinami v pohybových systémoch.

Dynamické obmedzenie sledovaného signálu

Dynamika t-suboptimálneho riadenia porovnateľná s časovo optimálnym riadením provokuje otázku, či riadenie navrhnuté na rýchly prechod systému z jednej pracovnej polohy do druhej nespĺňa aj náročnejšie požiadavky na presné sledovanie predpísanej trajektórie pohybu medzi týmito dvoma polohami. Vhodným kritériom môže byť presnosť sledovania veličiny typu harmonického signálu s danou frekvenciou a amplitúdou. Keďže ide o nelineárny typ riadenia, pri ktorom je správanie sa systému opísané sústavou diferenciálnych rovníc s nespojitou pravou stranou (1), (3), na vyhodnotenie presnosti nie je možné použiť metódy známe z teórie lineárnych systémov.

Nech A je amplitúda a ω kruhová frekvencia harmonického signálu x_d , ktorý má byť kopírovaný na výstupe polohového systému. Nech A je súčasne hodnota jednosmernej zložky tohto signálu, teda výstupná poloha nadobúda hodnoty z intervalu $\langle 0; 2A \rangle$. Nech je začiatková hodnota signálu (pre $t = 0$) nulová (ak chceme, aby riadený systém od začiatku kopíroval sledovanú veličinu, musí byť pri jeho rozbehu začiatková hodnota regulačnej odchýlky nulová), potom platí

$$x_d = A + A \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (4)$$

Pre derivácie sledovaného signálu platí

$$\dot{x}_d = A\omega \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = \dot{x}_{\max} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\ddot{x}_d = -A\omega^2 \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = -\ddot{x}_{\max} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (5)$$

Z podmienky riaditeľnosti systému (1) vyplýva

$$|Ku| \geq \dot{x}_{\max} \quad (6)$$

Porovnaním výrazov (5) a (6) a pri zohľadnení obmedzenia akčnej veličiny u dostaneme podmienku pre horné obmedzenie kruhovej frekvencie harmonického signálu

$$\omega \leq \omega_{\text{riad}} = \frac{KM}{A} \quad (7)$$

Vysoká presnosť sledovania žiadanej polohy, teda hodnota regulačnej odchýlky blízka nule znamená, že zastupujúci bod riadeného systému musí pri sledovaní zotrvať v klzavom režime na prepínacej funkcii. Tým je súčasne zaručená aj parametrická invariantnosť systému. Napriek tomu, že podmienka (7) zaručuje riaditeľnosť pohybového systému, pri obmedzení akčnej veličiny $|u| = M$ a pri hraničných hodnotách kruhovej frekvencie podľa (7) nemá pohybový systém rezervu na zachovanie klzavého režimu na všetkých úsekoch sledovanej trajektórie a tým ani na zabezpečenie jej presného sledovania.

Prísnejšiu podmienku pre obmedzenie parametrov sledovaného signálu získame porovnaním pravých strán matematického modelu (1), ktoré predstavujú zložky vektora tangenciálnej rýchlosti pohybu zastupujúceho bodu, so zložkami vektora tangenciálnej rýchlosti požadovanej trajektórie (5). Porovnáваме dynamicky najnepriaznivejšie hodnoty zložiek (t.j. uvažujeme $T = T_{\max}$ a minimálnu hodnotu maximálnej derivácie rýchlosti, kedy pôsobí maximálna hodnota spätnej väzby od rýchlosti proti obmedzenej akčnej veličine), aby bolo zaručené sledovanie za každých podmienok.

$$\left. \frac{dx}{dt} \right|_{\max} = \dot{x}_{\max} = \omega_{\max} A$$

$$\left. \frac{d\dot{x}}{dt} \right|_{\max} = \frac{1}{T_{\max}} (KM - \dot{x}_{\max}) = \ddot{x}_{\max} = A\omega_{\max}^2 \quad (8)$$

Podľa výrazov (8) platí pre hraničnú hodnotu kruhovej frekvencie sledovaného harmonického signálu

$$\omega_{\max} = \frac{-1 + \sqrt{1 + 4 \frac{KMT_{\max}}{A}}}{2T_{\max}} \quad (9)$$

Keďže pri splnení podmienky (9) má vektor tangenciálnej rýchlosti trajektórie systému rezervu oproti vektoru tangenciálnej rýchlosti požadovanej trajektórie, harmonický signál s kruhovou frekvenciou menšou ako $\omega_{\max}$ bude sledovaný v klzavom režime, teda s maximálnou presnosťou (teoreticky s nulovou regulačnou odchýlkou), napriek parametrickým poruchám v časovej konštante systému.

Na tomto mieste je potrebné všimnúť si, že kruhová frekvencia $\omega_{\max}$ je funkciou parametrov riadeného pohybového systému a amplitúdy žiadanej polohy, nie je však funkciou parametrov prepínacej funkcie. Dôsledkom toho je, že pri splnení podmienky (9) bude pohybový systém sledovať harmonický signál s porovnateľnou presnosťou bez ohľadu na typ a parametre prepínacej funkcie. To je veľmi silný záver, ktorý môže podstatne zjednodušiť syntézu robustných systémov s premenlivou štruktúrou určených na sledovanie predpísaných trajektórií. Na druhej strane, možnosť poruchy pri zadávaní žiadanej hodnoty, dočasné prekročenie obmedzenia (9) a prítomnosť parazitnej (neuvažovanej) dynamiky v reálnych pohybových systémoch podporujú seriózny výber štruktúry a parametrov prepínacej funkcie. Len v prípade kvalitného riadenia sa systém aj po náhodnom vychýlení vráti na sledovanú trajektóriu, čo zabezpečí len vhodná metóda syntézy prepínacej funkcie (napríklad metóda časovo suboptimálneho riadenia resp. jej modifikácie s potlačením parazitných nízkofrekvenčných autooscilácií v reálnom klzavom režime [1], [2]).

Keďže parametre sledovaného signálu vychádzajú z obmedzenia akčnej veličiny v reálnom systéme, môžeme tvrdiť, že žiaden systém s rovnakým obmedzením akčnej veličiny nedokáže sledovať rovnaký signál s vyššou presnosťou alebo naopak, sledovať s rovnakou presnosťou signál s vyššou dynamikou. Máme tým na mysli iné typy VSC so zložitejšími štruktúrami, určené špeciálne na sledovanie trajektórií, napríklad štruktúry s integračným kľzavým režimom [8] a pod. Navyiac, ako bolo spomenuté vyššie, vlastnosti rýchleho robustného PTP riadenia kombinované s výbornými schopnosťami sledovania trajektórií pri použití algoritmu časovo suboptimálneho riadenia umožnia pohybovému systému spoľahlivo vyriešiť nábeh na požadovanú trajektóriu resp. návrat na trajektóriu po poruche počas jej sledovania.

Výsledky simulácií

Simulácie t-suboptimálneho pohybového systému so sledovaním žiadanej hodnoty polohy v prostredí MATLAB boli realizované na modeli jedného stupňa voľnosti s jednosmerným elektrickým motorom a harmonickou prevodovkou (prevodové číslo $i = 104$) s ekvivalentnými parametrami danými v tabuľke 1. Riadenú veličinu tu reprezentuje signál zo snímača polohy úmerný uhlovému natočeniu výstupného hriadeľa prevodovky.

Parameter	Hodnota	Poznámka
K	0,0883	zosilnenie kanála riadenia
$T_{\min}$	0,019 s	minimálna hodnota časovej konštanty
$T_{\max}$	0,068 s	maximálna hodnota časovej konštanty
M	50,5 V	obmedzenie akčnej veličiny (nominálne napätie kotvy JM)
α	47,9249	parameter t-suboptimálnej prepínacej funkcie (2)
A	1V $\approx$ 51,3°	amplitúda sledovaného harmonického signálu (4)
ω_{riad}	4,45915 rad/s	maximálna kruhová frekvencia riaditeľného signálu (7)
$\omega_{\max}$	3,58513 rad/s	maximálna kruhová frekvencia sledovaného signálu (9)

Tab.1 Parametre pohybového systému

Vzhľadom na to, že systémy s premenlivou štruktúrou sú opísané systémom diferenciálnych rovníc s nespojitou pravou stranou, na ich riešenie v prostredí MATLAB bolo kvôli konvergencii času riešenia potrebné zvoliť metódu numerickej integrácie s pevným krokom Δt ($\Delta t = 10^{-5}$ s $\ll T_{\min}$). Frekvencia kľzavého režimu na obrázkoch je teda daná krokom numerickej integrácie – v ideálnych systémoch je frekvencia kľzavého režimu nekonečne vysoká.

Všetky simulácie sú vykonané pre obe hraničné hodnoty časovej konštanty pohybového systému T . Prvá skupina obrázkov (obrázky 2 až 7) ilustruje nedokonalé sledovanie harmonického signálu pri frekvencii ω_{riad} , kedy je síce systém riaditeľný, ale na úseku s najvyššou hodnotou derivácie žiadanej hodnoty (obrázky 3 a 6) nie je schopný udržať trajektóriu v kľzavom režime, akčná veličina je trvale na svojej hraničnej hodnote (obrázky 2 a 5) a regulačná odchýlka rastie (obrázky 4 a 7). Po poklese derivácie sa systém vráti do kľzavého režimu a presnosť sledovania sa zväčší. Proces je výraznejší pre systém s horšími dynamickými vlastnosťami ($T_{\max}$). Na obrázkoch 3 a 6 je zakreslený priebeh oboch veličín – žiadanej aj výstupnej. Keďže frek-

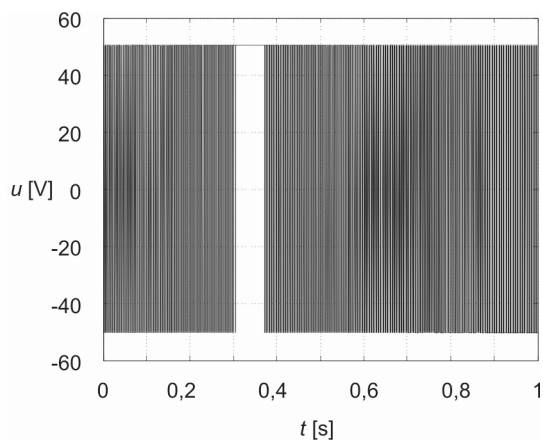
vencia ω_{riad} je blízka hodnote $\omega_{\max}$ pre dokonalé sledovanie signálu, nepresnosť sledovania nie je veľmi výrazná.

Obrázky 8 až 13 ilustrujú vysokú presnosť sledovania pri splnení podmienky (9). Systém je v kľzavom režime počas celého procesu sledovania, čo ukazujú obrázky 8 a 11 na priebehu akčnej veličiny. Priebehy žiadanej hodnoty a riadenej veličiny na obrázkoch 9 a 12 sa pri danom rozlíšení nelíšia, pretože regulačná odchýlka podľa obrázkov 7 a 13 neprekročí hodnotu 4×10^{-5} pre $T_{\min}$ resp. $1,2 \times 10^{-5}$ pre $T_{\max}$, čo je menej ako 0,004% resp. 0,0012% amplitúdy sledovaného signálu. Zmenšením kroku numerickej integrácie sa tieto hodnoty ešte zlepšia. Paradoxne vyššia presnosť sledovania pre dynamicky horší systém ($T_{\max}$) je typická pre numerické simulácie systémov s premenlivou štruktúrou, pretože vzhľadom na konečnú veľkosť kroku numerickej integrácie rýchlejší systém má väčšie oscilácie trajektórie (väčšiu amplitúdu derivácií) okolo prepínacej funkcie a teda aj väčší rozptyl odchýlky. Keďže numericky nie je možné simulovať ideálny kľzavý režim, údaje o regulačnej odchýlke sú len informatívne.

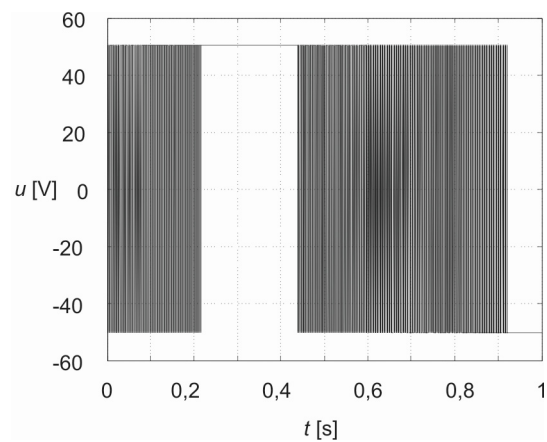
Na obrázkoch 14 až 17 je ukážka presného sledovania harmonického signálu aj po extrémnej zmene parametra prepínacej funkcie (2). Hodnota parametra $\alpha = 0$ dokazuje, že vlastnosti prepínacej funkcie neovplyvňujú presnosť sledovania (viď kapitola 3). Podľa obrázkov 15 resp. 17 sa hodnota regulačnej odchýlky pohybuje okolo 0,1% resp. 0,03% amplitúdy sledovaného signálu. Zdalo by sa teda, že aj pri úplnej strate informácie o výstupnej veličine x si systém zachová kvalitu riadenia. Treba si však uvedomiť, že pri ľubovoľnej poruche v sledovaní žiadanej veličiny sa systém bez informácie o výstupnej veličine nemôže vrátiť na sledovanú trajektóriu a zlyhá, pričom bude paradoxne stále v kľzavom režime. Ide teda len o akademický príklad. Naopak, pri nenulových hodnotách parametra α je riadenie funkčné, parameter ovplyvňuje len dynamiku návratu na sledovanú trajektóriu.

Na obrázkoch 18 a 19 je zdokumentovaná schopnosť t-suboptimálneho riadenia dosiahnuť v najkratšom možnom čase sledovanú trajektóriu x_d a potom ju presne sledovať v prípade, že sa začiatkové hodnoty žiadanej a riadenej polohy nezhodujú. Žiadaná hodnota na obrázku je oproti pôvodnej fázo posunutá o 45°, jej kruhová frekvencia je opäť $\omega_{\max}$. Z obrázka je zjavné, že pohybový systém sa najprv rozbehne s maximálnym zrýchlením na maximálnu rýchlosť a tesne pred dosiahnutím sledovanej trajektórie dobrzdí v kľzavom režime (po prepínacej priamke). Maximálne hodnoty zrýchlenia a rýchlosti sú dané obmedzením akčnej veličiny. V ďalšom pohybe pokračuje systém presným sledovaním žiadanej hodnoty.

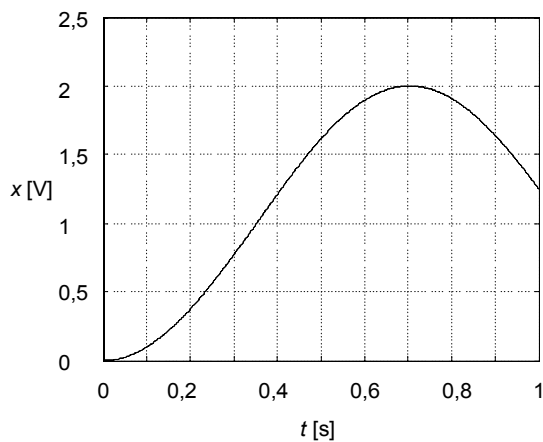
Pri pohľade na výsledky simulácií si treba uvedomiť, že vyššie uvedená teória bezo zvyšku platí pre ideálny pohybový systém bez parazitných (zanedbaných) zotrvačností, ktoré v reálnom systéme spôsobia zánik ideálneho kľzavého režimu a vznik nežiaducich nízkofrekvenčných autooscilácií (chattering). Tieto sú vďaka vyššiemu rádu dynamického modelu systému spôsobené oneskorenou reakciou zastupujúceho bodu na prítomnosť prepínacej funkcie (hysteréza prepínania akčnej veličiny). Tento problém môže byť riešený spojitou aproximáciou nespojitého algoritmu riadenia alebo zložitejšími štruktúrami pomocou bypassu, ktorý oddelí kľzavý režim od kanála riadenia [8]. V takýchto modifikovaných, náhradných štruktúrach možno presnosť sledovania analyzovať metódami teórie lineárnych systémov. Cieľom tohto príspevku bolo pokúsiť sa vyplniť medzeru v posudzovaní presnosti sledovania v ideálnych systémoch s premenlivou štruktúrou, ktoré v tejto oblasti predstavujú hraničný prípad. Systémy s premenlivou štruktúrou, najmä ich modifikované algoritmy, sú vďaka robustnosti a dynamickosti perspektívne najmä v rýchlych pohybových aplikáciách zaťažených parametrickou neurčitostou.



Obr.2 Pribeh akčnej veličiny pre ω_{riad} a T_{min}
Fig.2 Control signal plot for ω_{riad} and T_{min}

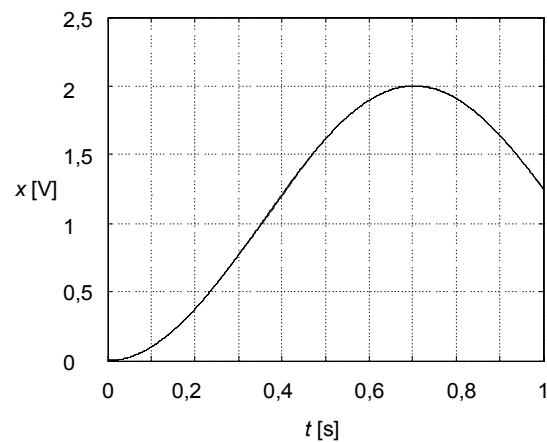


Obr.5 Pribeh akčnej veličiny pre ω_{riad} a T_{max}
Fig.5 Control signal plot for ω_{riad} and T_{max}



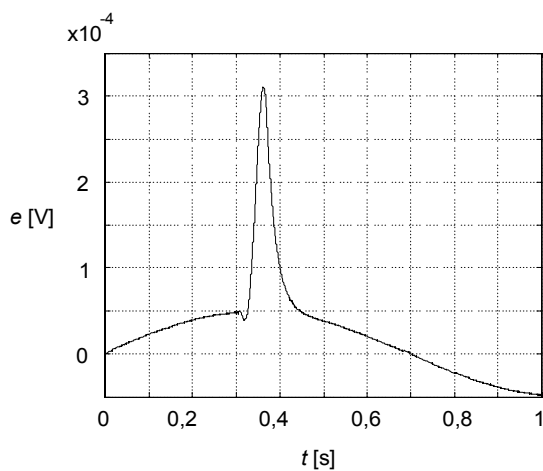
Obr.3 Sledovanie harmonického signálu s frekvenciou ω_{riad} pre T_{min}

Fig.3 Harmonic signal tracking with the frequency ω_{riad} for T_{min}



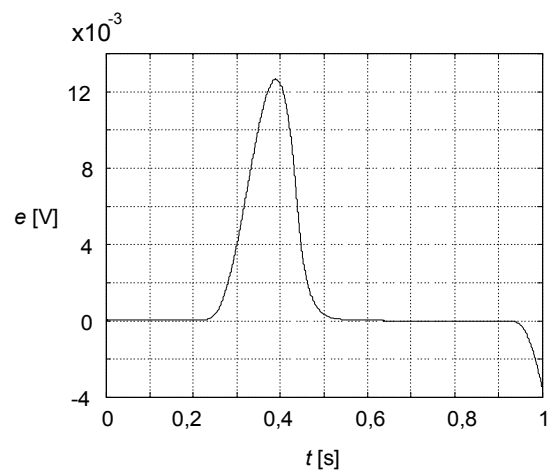
Obr.6 Sledovanie harmonického signálu s frekvenciou ω_{riad} pre T_{max}

Fig.6 Harmonic signal tracking with the frequency ω_{riad} for T_{max}



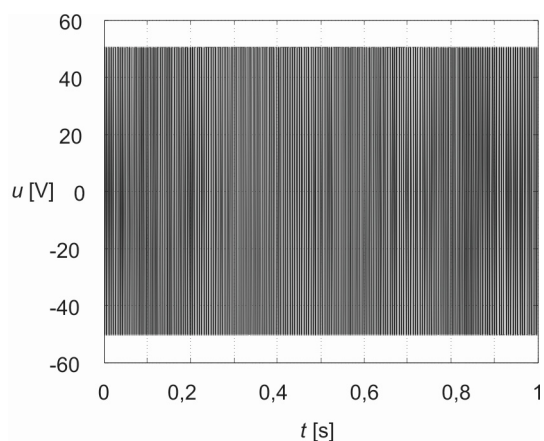
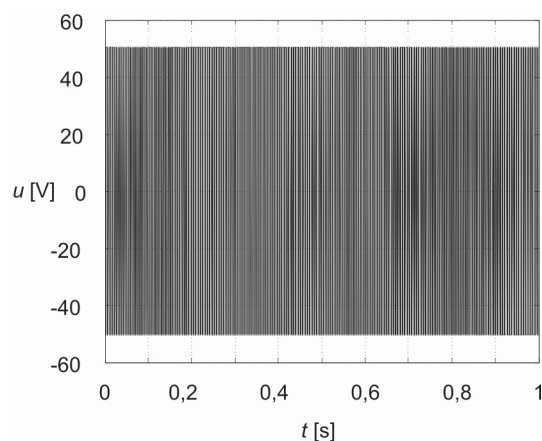
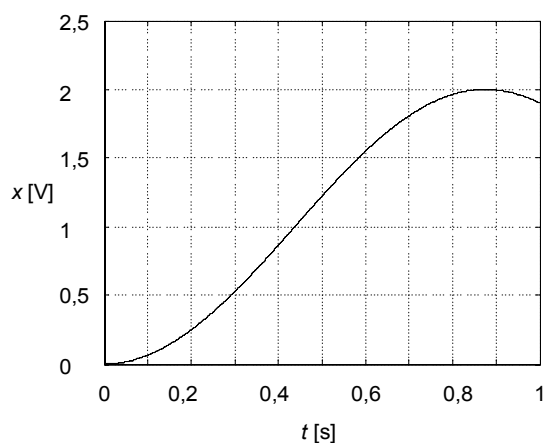
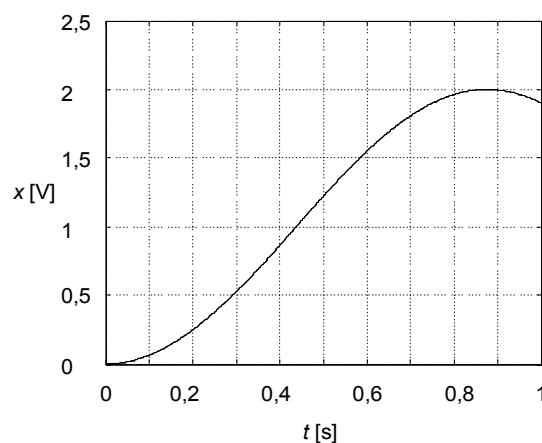
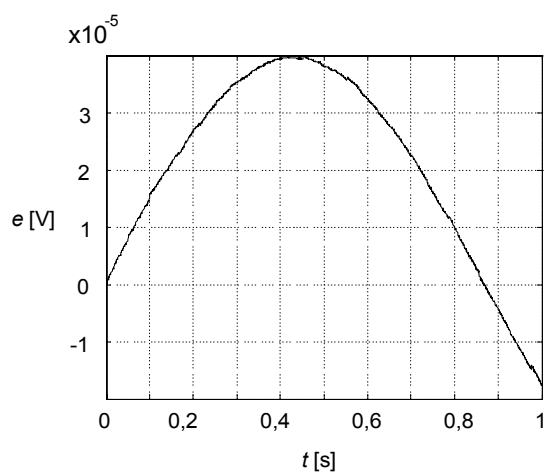
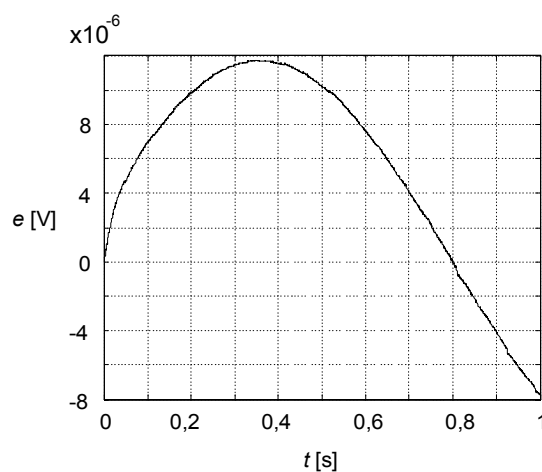
Obr.4 Regulačná odchýlka pri sledovaní harmonického signálu s frekvenciou ω_{riad} pre T_{min}

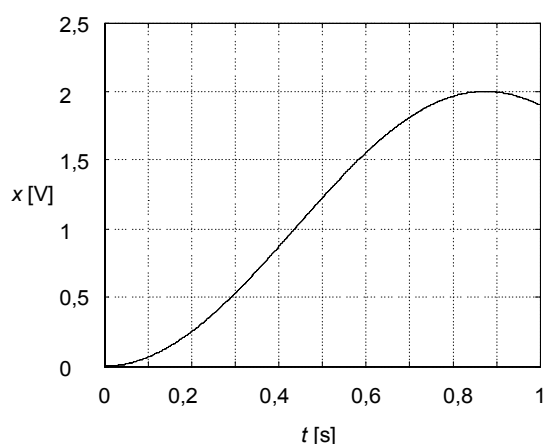
Fig.4 Harmonic signal tracking error with the frequency ω_{riad} for T_{min}



Obr.7 Regulačná odchýlka pri sledovaní harmonického signálu s frekvenciou ω_{riad} pre T_{max}

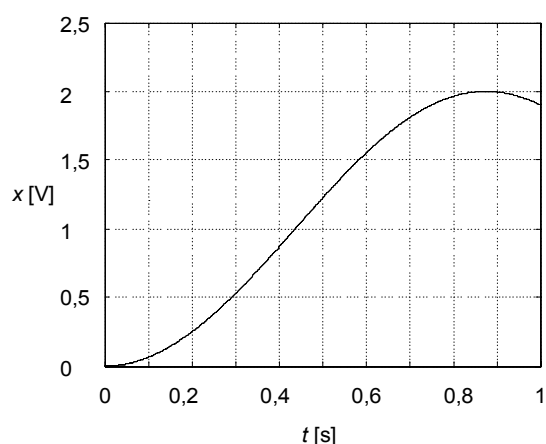
Fig.7 Harmonic signal tracking error with the frequency ω_{riad} for T_{max}

Obr.8 Pribeh akčnej veličiny pre $\omega_{\max}$ a $T_{\min}$ Fig.8 Control signal plot for $\omega_{\max}$ and $T_{\min}$ Obr.11 Pribeh akčnej veličiny pre $\omega_{\max}$ a $T_{\max}$ Fig.11 Control signal plot for $\omega_{\max}$ and $T_{\max}$ Obr.9 Sledovanie harmonického signálu s frekvenciou $\omega_{\max}$ pre $T_{\min}$ Fig.9 Harmonic signal tracking with the frequency $\omega_{\max}$ for $T_{\min}$ Obr.12 Sledovanie harmonického signálu s frekvenciou $\omega_{\max}$ pre $T_{\max}$ Fig.12 Harmonic signal tracking with the frequency $\omega_{\max}$ for $T_{\max}$ Obr.10 Regulačná odchýlka pri sledovaní harmonického signálu s frekvenciou $\omega_{\max}$ pre $T_{\min}$ Fig.10 Harmonic signal tracking error with the frequency $\omega_{\max}$ for $T_{\min}$ Obr.13 Regulačná odchýlka pri sledovaní harmonického signálu s frekvenciou $\omega_{\max}$ pre $T_{\max}$ Fig.13 Harmonic signal tracking error with the frequency $\omega_{\max}$ for $T_{\max}$



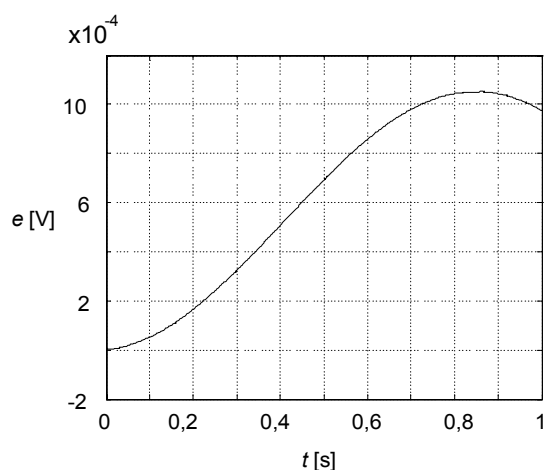
Obr.14 Sledovanie harmonického signálu s frekvenciou $\omega_{\max}$ pre $T_{\min}$ a $\alpha = 0$

Fig.14 Harmonic signal tracking with the frequency $\omega_{\max}$ for $T_{\min}$ and $\alpha = 0$



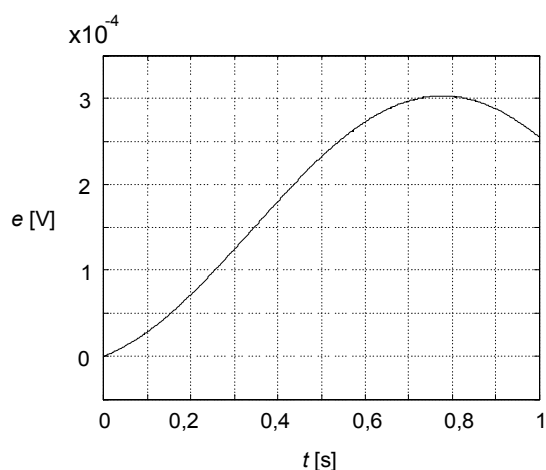
Obr.16 Sledovanie harmonického signálu s frekvenciou $\omega_{\max}$ pre $T_{\max}$ a $\alpha = 0$

Fig.16 Harmonic signal tracking with the frequency $\omega_{\max}$ for $T_{\max}$ and $\alpha = 0$



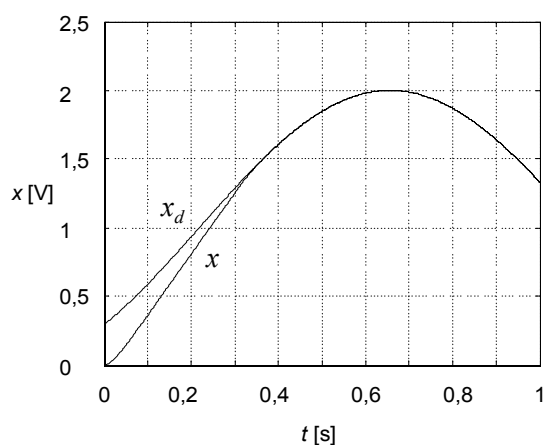
Obr.15 Regulačná odchýlka pri sledovaní harmonického signálu s frekvenciou $\omega_{\max}$ pre $T_{\min}$ a $\alpha = 0$

Fig.15 Harmonic signal tracking error with the frequency $\omega_{\max}$ for $T_{\min}$ and $\alpha = 0$



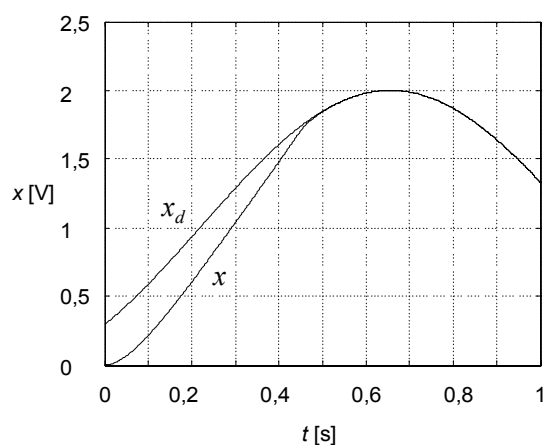
Obr.17 Regulačná odchýlka pri sledovaní harmonického signálu s frekvenciou $\omega_{\max}$ pre $T_{\max}$ a $\alpha = 0$

Fig.17 Harmonic signal tracking error with the frequency $\omega_{\max}$ for $T_{\max}$ and $\alpha = 0$



Obr.18 Sledovanie trajektórie pri nerovnakých začiatočných podmienkach pre $T_{\min}$

Fig.18 Tracking with the unequal initial conditions for $T_{\min}$



Obr.19 Sledovanie trajektórie pri nerovnakých začiatočných podmienkach pre $T_{\max}$

Fig.19 Tracking with the unequal initial conditions for $T_{\max}$

Záver

V príspevku je riešená problematika použitia algoritmu časovo suboptimálneho riadenia na presné sledovanie signálu žiadanej veličiny. Toto riadenie, ktoré patrí do kategórie systémov s premenlivou štruktúrou, sa vyznačuje jednoduchosťou implementácie a vysokou dynamikou. Vďaka špecifickému režimu činnosti – klzavému režimu – sú systémy s premenlivou štruktúrou schopné zaručiť robustnosť riadenia napriek parametrickej neurčitosti riadeného objektu. Zaujímavou vlastnosťou týchto systémov je vysoká presnosť sledovania, ktorá nie je závislá na parametroch riadiaceho algoritmu ale je limitovaná obmedzením akčnej veličiny a dynamikou riadeného systému. Teoretické výsledky sú overené simuláciami na modeli pohybového systému pri sledovaní harmonického priebehu žiadanej polohy.

Pod'akovanie

Táto práca vznikla za podpory Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied VEGA pod grantom číslo 1/3120/06.

Literatúra

- [1] HUNG, J. Y., GAO, W., HUNG, J. C.: *Variable Structure Control: A Survey*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1993, vol. 40, iss. 1, p. 2-22.
- [2] Kardoš, J.: *Reaching Law Modification of Time Sub-Optimal Variable Structure Control*. International Journal of Mechanics and Control, 2005, vol. 6, iss. 2, p. 39-49.
- [3] Kardoš, J.: *Teória systémov s premenlivou štruktúrou a časovo suboptimálne riadenie polohy*. Bratislava: HMH, 2007. 162 s.
- [4] KRAJČÍ, V., JURIŠICA, L.: *A Reference Model and Variable Structure Control of a Planar Robot*. Process Control 2004, 6th International Scientific - Technical Conference RIP 2004, Kouty nad Desnou, Czech Republic, 8-11 June 2004, p. R210b-1 - R210b-7.

[5] KRAJČÍ, V., JURIŠICA, L.: *Variable-Structure Control of a Five-Axis Robot*. Selected Topics in Modelling and Control, Slovak University of Technology Press, Bratislava, 2004, vol. 4, p. 7-12.

[6] SHARKAWY, A. B., Vitko, A., Šavel, M., Jurišica, L.: *Sliding Mode Control of Compliant Joints Robot*. 2nd IFAC Conference on Control Systems Design 2003, Bratislava Slovak republic, 7-10 September 2003, p. 247-252.

[7] UTKIN, V. I.: *First Stage of VSS: People and Events*. In.: YU, X.; XU, J. X. (eds.) *Variable Structure Systems: Towards the 21st Century*. Berlin: Springer Verlag, 2002. p. 1-32.

[8] UTKIN, V. I., GULDNER, J., DHI, J.: *Sliding Mode Control in Electromechanical Systems*. London: Taylor & Francis, 1999. 325 p.

Abstract

The paper presents the accuracy analysis of the position command following control in the variable structure systems (VSS) with sliding mode taking the system's parameter uncertainty into account. A particular control algorithm – the time sub-optimal control, which may be viewed as a robustification of the originally deterministic t-optimal control based on the VSS theory is analysed. The reference tracking performance for both the parametric disturbance and the control action limitation is illustrated by MATLAB simulation results.

Ing. Ján Kardoš, PhD.

Slovenská technická univerzita
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Ústav riadenia a priemyselnej informatiky
Ilkovičova 3
812 19 Bratislava
jan.kardos@stuba.sk