

Riadenie slabo tlmeného polohového systému s elimináciou reziduálnych kmitov a predikciou polohy

Jozef Štefanka
Peter Hubinský

Abstrakt

Článok sa venuje problematike riadenia slabo tlmeného polohového systému. Slabo tlmený polohový systém predstavuje kyvadlo na pohyblivom závесе. Cieľom riadenia je potlačenie reziduálnych kmitov kyvadla vznikajúcich pri pohybe závесе. Využíva sa pri tom dopredné riadenie pomocou tvarovania riadiaceho signálu. Tvarovanie riadiaceho signálu sa robí za účelom minimalizácie spektra riadiaceho signálu na vlastnej frekvencii riadenej sústavy. Pri riadení dochádza k predĺženiu regulačného procesu, čo predstavuje problém pri presnom riadení polohy kyvadla. V článku je uvedený spôsob predikcie polohy kyvadla pri doprednom riadení s elimináciou reziduálnych kmitov.

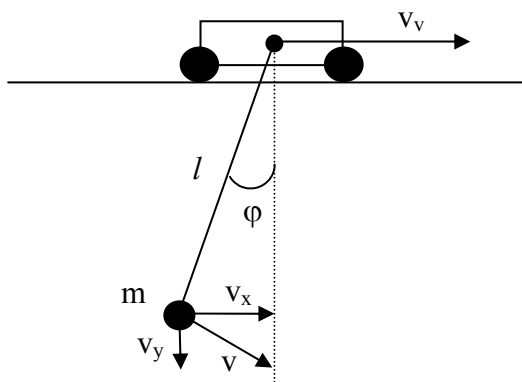
Kľúčové slová: slabo tlmený polohový systém, riadenie v otvorenej slučke, reziduálne kmity, predikcia polohy

Úvod

Eliminácia reziduálnych kmitov v slabo tlmených systémoch umožňuje skracovanie doby regulácie a tým zvyšovanie produktivity. Eliminácia reziduálnych kmitov kyvadla na pohyblivom závесе má reálne uplatnenie pri riadení stavebných, alebo portálových žeriavov.

Model kyvadla na pohyblivom závесе

Uvažujeme systém zobrazený na obrázku 1.



Obr.1 Kyvadlo na pohyblivom závесе
Fig.1 Pendulum on movable carriage

Na vozíku pohybujúcom sa rýchlosťou v_v je zavesené lano dĺžky l . Na konci lana je zavesené závažie s hmotnosťou m .

Závažie sa pohybuje rýchlosťou v ktorú je možné rozložiť do rýchlosti v osi x (v_x) a rýchlosti v osi y (v_y). Uhol odchylenia lana od rovnovážnej (zvislej) polohy je označený ako φ . Aktuálna poloha vozíka v čase t je $x(t)$. Rýchlosť pohybu vozíka dostaneme deriváciou aktuálnej polohy :

$$v_v(t) = \dot{x}(t) \quad (1)$$

Zrýchlenie pohybu vozíka dostaneme deriváciou aktuálnej rýchlosti :

$$a_v(t) = \dot{v}_v(t) = \ddot{x}(t) \quad (2)$$

Pri odvodzovaní matematického modelu kyvadla na pohyblivom závесе zanedbáme vplyv odporu vzduchu a uvažujeme trenie v ložiskách. Na kyvadlo pozeráme ako na hmotný bod zavesený na nehmotnej niti. Prenosová funkcia kyvadla je :

$$F(s) = \frac{\varphi(s)}{a(s)} = \frac{K \varpi_0}{s^2 + 2b \varpi_0 + \varpi_0^2} \quad (3)$$

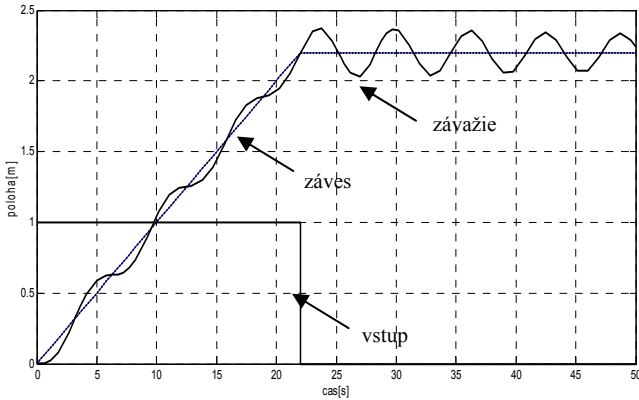
Jednotlivé parametre funkcie sú nasledovné :

$$K = -\frac{l}{g}; \quad \varpi_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}; \quad b = \frac{k_b}{2ml^2\varpi_0} \quad (4)(5)(6)$$

$K(4)$ je zosilnenie sústavy. $\varpi_0(5)$ je vlastná uhlová rýchlosť sústavy a $b(6)$ je tlmenie sústavy.

Reziduálne kmity kyvadla na pohyblivom závесе

Kyvadlo na pohyblivom závесе predstavuje slabo tlmený systém. Ak na vstup slabo tlmeného systému privedieme ľubovoľný riadiaci signál (zrýchlenie závесе lana) s nenulovým modulom spektra $S_M(\varpi_0)$ na vlastnej frekvencii systému, tak po jeho ukončení začne výstup (zavesené závažie) kmitať (Obr. 2).



Obr. 2 Odozva systému na vstupný signál
Fig.2 System response for non shaped control signal

Amplitúda reziduálnych kmitov (A_ω) je priamo úmerná modulu spektra riadiaceho signálu na vlastnej frekvencii sústavy $S_M(\omega_0)$ a jej zosilneniu (K):

$$A_\omega = \frac{A}{\omega_0} = K \cdot S_M(\omega_0) \quad (7)$$

Potlačenie reziduálnych kmitov

Eliminácia reziduálnych kmitov využíva nulovanie modulu spektra riadiaceho signálu na vlastnej frekvencii riadeného systému. Taktó navrhnutý riadiaci signál po privedení na slabo tlmený systém nespôsobuje vybudenie reziduálnych kmitov. Existuje niekoľko spôsobov návrhu riadiaceho signálu. Najjednoduchším je riadiaci signál v tvare obdĺžnika. Modul spektra obdĺžnikového riadiaceho signálu na vlastnej frekvencii riadeného signálu dokážeme nulovať správnou voľbou koeficientu amplitúdovej modulácie riadiaceho impulzu.

Ďalším, dokonalejším je riadiaci signál v tvare lichobežníka pri ktorom modul spektra ovplyvňujeme správnou voľbou koeficientu amplitúdovej modulácie a dĺžky nábežnej a dobežnej hrany riadiaceho signálu.

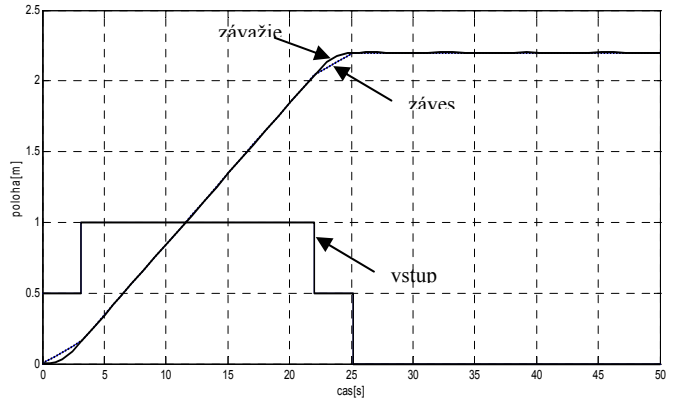
Riadiaci signál na báze versínusovej funkcie pri ktorom modul spektra závisí od koeficientov jednotlivých členov radu.

Riadiaci signál na báze polynomickej funkcie pri ktorom nulovanie modulu spektra robíme vhodnou voľbou koeficientov polynómu.

Jednotlivé typy uvedených signálov je možné ľubovoľne sčítavať, čím vznikajú riadiace signály s lepšími vlastnosťami. Napríklad je možné skombinovať rozbehovú a dobehovú fázu. Podmienkou nevybudenia reziduálnych kmitov je použitie celého elementárneho signálu (nesmie sa skrátiť).

Na obrázku 3 je znázornený upravený riadiaci signál a odozva systému.

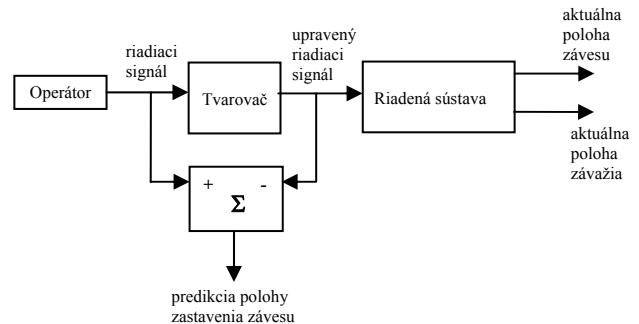
Zavesené závažie nekmitá počas presunu závesu a ani po jeho zastavení. Oproti riadiacemu signálu bez tvarovania sa mierne predĺžila doba regulácie.



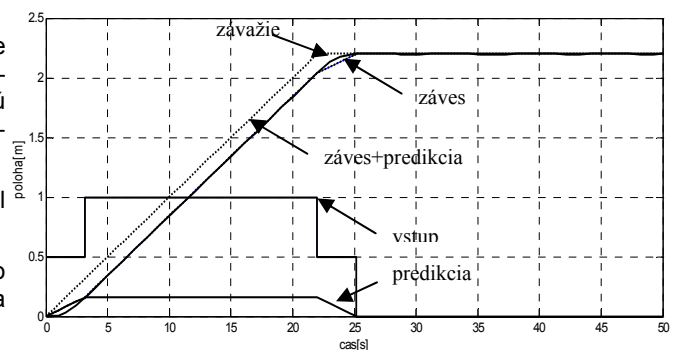
Obr.3 Odozva systému na tvarovaný vstupný signál
Fig.3 System response for shaped control signal

Predikcia polohy závesu kyvadla

Pri úprave riadiaceho signálu pomocou postupnosti Diracových impulzov dochádza k oneskoreniu reakcie systému na požadovanú zmenu. Úprava riadiaceho signálu pri vypnutí pohybu závesu spôsobuje, že záves ešte prejde určitú vzdialenosť. Je to spôsobené tým, že skokové vypnutie pohonu závesu je nahradené dlhším (upraveným) riadiacim signálom. Uvedené oneskorenie môže spôsobovať problém pri riadení polohy závesu a závažia. Riešením je predikcia polohy závesu (závažia) po zastavení pohybu. Predikciu je možné urobiť integráciou rozdielu netvarovaného a tvarovaného riadiaceho signálu.



Obr. 4 Bloková schéma výpočtu predikcie polohy zastavenia závesu
Fig.4. Block diagram of carriage ending position prediction computing



Obr. 5 Zobrazenie predikcie zastavenia závesu pri tvarovaní riadiaceho signálu

Fig.5 System response for shaped control signal and prediction of carriage ending position

Bloková schéma navrhovaného riešenia je znázornená na obrázku 4.

Obrázok 5 znázorňuje polohu závesu s pripočítanou predikciou zastavenia závesu.

Zobrazenie predikcie zastavenia závesu (závažia) je v praxi možné realizovať viacerými spôsobmi.

Prvým je pridanie svetelného zdroja (reflektor, laserový lúč) na vozík z ktorého visí závažie. Svetelný zdroj by bol umiestnený na otočnom závесе v mieste uchytenia lana na vozíku. Svetelný lúč by zanechával svetelnú stopu na podlahe pod zaveseným závažím. Svetelný zdroj by bol natočený podľa aktuálnej veľkosti predikcie. Uhol natočenia by sa vypočítal pomocou trigonometrických funkcií podľa aktuálnej veľkosti predikcie a vzdialenosti závesu od podlahy. Nevýhodou takéhoto prístupu je, že by fungoval len na miestach s rovnou podlahou bez prekážok.

Druhým riešením umiestnenie zdroja svetla na závесе tak, aby sa mohol horizontálne pohybovať. Zdroj by bol v takej vzdialenosti od závesu lana, ktorá zodpovedá aktuálnej predikcii zastaveniu závesu a osvetľoval by podlahu kolmo pod sebou. Takéto riešenie by už fungovalo aj v priestoroch s nerovnou podlahou.

Tretím riešením je použitie vizuálneho systému. Kamera by bola umiestnená v mieste zavesenia lana a snímala priestor pod závesom. Do obrazu zobrazovanému operátorovi by sa pridala značka označujúca predikciu polohy závažia po zastavení pohybu závesu.

Záver

V článku je ukázaný spôsob eliminácie reziduálnych kmitov kyvadla na pohyblivom závесе pomocou metódy tvarovania vstupného signálu. Článok sa venuje výpočtu predikcie zastavenia pohybu závesu (závažia) pri tvarovaní riadiaceho signálu. V závere sú uvedené možné spôsoby technickej realizácie zobrazenia konečnej polohy závesu (závažia).

PodĎakovanie

Tento článok vznikol v rámci projektu APVV-99-045805 „Moderný sieťový riadiaci systém pre náročné priemyselné technológie“.

Literatúra

[1] Hubinský, P.: Tvarovanie spektra riadiacich signálov mechatronických systémov - Habilitačná práca. EF STU Bratislava, 1998.

[2] Vranka, B.: Metóda on-line eliminácie reziduálnych kmitov mechatronického systému - Diplomová práca. EF STU Bratislava, 2001

[3] Glončák, M.: Návrh programového prostredia na demonštráciu algoritmov tvarovania riadiacich signálov - Diplomová práca. EF STU Bratislava, 2000

Abstract

Article describes control of the low damped system. System consist of carriage with the rope and transported load. Control method is based on the control in an open loop (without any feedback). Main aim of the control is design of control signal, which eliminates the residual vibration of transported load. Residual vibration elimination is based on minimization of the control signal spectrum module at system natural frequency. Article describes the method of carriage (transported load) ending position prediction during carriage positioning with elimination of the residual vibrations.

Ing. Jozef Štefanka

Slovenská Technická Univerzita

Ústav riadenia a priemyselnej informatiky

Ilkovičova 3

81219 Bratislava

Tel.: 2 60291 608

E-mail: jozef.stefanka@stuba.sk

Doc. Ing. Peter Hubinský, PhD.

Slovenská Technická Univerzita

Ústav riadenia a priemyselnej informatiky

Ilkovičova 3

81219 Bratislava

Tel.: 2 60291 608

E-mail: peter.hubinsky@stuba.sk