

# Číslicové snímače polohy, rýchlosti a zrýchlenia (4)

## Aplikácie PLL na estimáciu rýchlosti motora z meranej polohy IRC snímačom

Estimátory polohy, uhlovej rýchlosti a zrýchlenia sa môžu realizovať aj pomocou spätnoväzbových algoritmov, často označovaných ako pozorovatele (observers). Uvedieme tri typy pozorovateľov:

- aplikácia fázového závesu PLL,
- Luenbergerov pozorovateľ,
- nelineárny pozorovateľ.

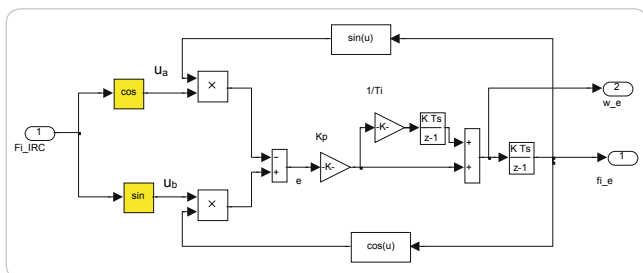
Využitie fázového závesu na estimáciu uhlovej rýchlosti vychádza z jednoduchého predpokladu, že uhol natočenia motora  $\varphi$  reprezentuje údaj číslicového snímača polohy (IRC, selsyn)  $\varphi_{IRC}$ . Nič nám nebráni spätne vypočítať pôvodné budiace signály  $U_a$  a  $U_b$  uvedených snímačov:

$$\begin{aligned} U_a &= U \cos \varphi_{IRC} \\ U_b &= U \sin \varphi_{IRC} \end{aligned} \quad (27)$$

Vzťah (27) predstavuje vektor (komplexnú premennú), kde amplitúda  $U = I$ .

$$\hat{U} = U_a + jU_b = Ue^{j\varphi_{IRC}} \quad (28)$$

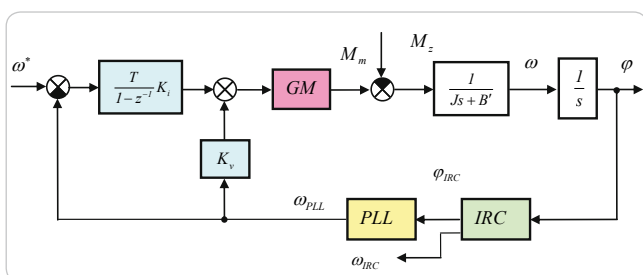
Pomocou fázového závesu (obr. 26) môžeme vypočítať jeho argument (polohu) –  $\varphi_e$  alebo aj jeho deriváciu – uhlovú rýchlosť –  $\omega_e$ , čo využijeme pri realizácii rýchlostného servopohonu.



Obr. 26 Simulačný model estimátora rýchlosti pomocou fázového závesu, vstupný signál je z IRC snímača alebo selsyna

Vlastnosti navrhovaného estimátora rýchlosti boli overené na modeli rýchlostného servopohonu s IP regulátorom rýchlosti (obr. 27). Základné parametre modelu:

- % parametre kvality regulácie,
- f0 = 20 % [Hz] pásmo priepustnosti ROR,
- w0 = 2\*pi\*f0,
- Tv = 2e - 4 % [s] perióda vzorkovania,
- wop = w0\*2 % pásmo priepustnosti PLL
- Tf = 0,5/wop % [s] časová konštanta filtra 1. rádu,
- N = 4 096 % [imp./ot.] rozlišovacia schopnosť IRC snímača.

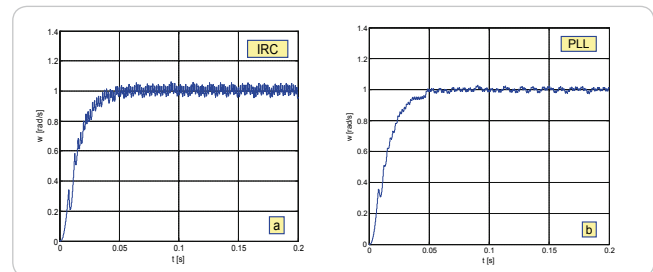


Obr. 27 Simulačný model estimátora rýchlosti pomocou fázového závesu, vstupný signál je z IRC snímača.

Priebehy rýchlosti sú ideálne získané zo simulačného modelu motora.

Vyhodnotenie experimentu: Pri zvolených parametroch IRC snímača, periódy vzorkovania a kvality regulácie namerané priebehy

potvrdzujú vhodnosť zaradenia fázového závesu do estimátora uhlovej rýchlosti. Kvalita riadenia sa výrazne zlepšila, veľkosť kmitov rýchlosti sa dá podstatne znížiť oproti IRC snímaču.



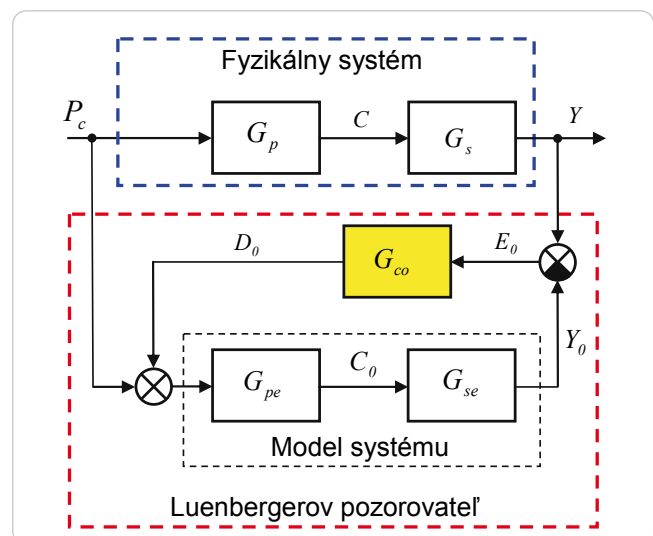
Obr. 28 rýchlosť motora a) ak je zaradený v spätnej väzbe signál z IRC snímača, b) ak je zaradený v SV signál z fázového závesu PLL

## Luenbergerov pozorovateľ polohy, rýchlosti a zrýchlenia

Luenbergerov pozorovateľ (LP, obr. 29) je spätnoväzbový typ pozorovateľa. Predpokladajme, že fyzikálny systém obsahuje riadenú sústavu s prenosom  $G_p(s)$  a snímač regulovanej veličiny s prenosom  $G_s(s)$ . Prenosová funkcia snímača obsahuje kompletný prenos meracieho kanála. Regulovaná veličina  $C$  je pri riadení merateľná nepriamo len na výstupe snímača signálom  $Y$ . Vstupnou veličinou fyzikálneho systému je akčná veličina  $P_c$ . Cieľom je navrhnuť pozorovateľ regulovanej veličiny s využitím vstupno-výstupných veličín fyzikálneho systému:  $P_c - Y$ . Model systému obsahuje estimovaný model riadenej sústavy  $G_{pe}(s)$  a snímača  $G_{se}(s)$ , ktorých dynamické vlastnosti by mali byť zhodné z fyzikálnym systémom, požadujeme teda splniť nasledujúcu podmienku:

$$G_{pe}(s) \cong G_p(s) \text{ a } G_{se}(s) \cong G_s(s) \quad (29)$$

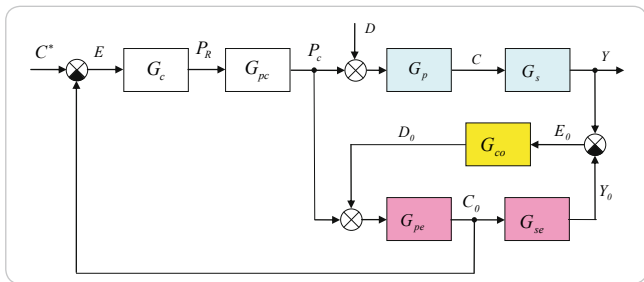
Výstupná veličina modelu systému reprezentuje estimovanú výstupnú veličinu snímača  $Y_0$ . Porovnaním meranej a estimovanej veličiny snímača získame chybu pozorovanej veličiny  $E_0$ , ktorá je vstupnou veličinou kompenzačného člena pozorovateľa  $G_{co}(s)$ . Kompenzačný člen zabezpečuje v stacionárnom režime nulovú chybu pozorovanej veličiny. Potom platí:  $Y_0 = Y$ .



Obr. 29 Luenbergerov pozorovateľ – základná bloková schéma

Z blokovej schémy môžeme vypočítať obraz výstupnej estimovanej regulovanej veličiny ako prenosovej funkcie obrazu výstupnej veličiny  $Y$  a vstupnej akčnej veličiny  $P_c$ .

Ako sme už uviedli, predpokladáme, že Luenbergerov pozorovateľ estimovanej veličiny  $C_o$  sa využije na riadenie. Schéma zapojenia LP do regulačného obvodu je uvedená na obr. 30; obsahuje blok  $G_{pc}(s)$  – akčný člen a blok  $G_c(s)$  – reprezentujúci algoritmus riadenia. V našich aplikáciách riadenia pohybu bude akčný člen funkčný blok generátora momentu.



Obr. 30 Luenbergerov pozorovateľ v regulačnom obvode

Aplikáciu LP v číslicových polohových servopohonoch rozpracoval vo svojich prácach R. D. Lorenz. Fyzikálny model servopohonu predstavuje model mechanického systému a model snímača polohy. V tejto časti sa zameriame len na tuhé systémy. Mechanický systém je vyjadrený pohybovou rovnicou:

$$M_m - M_z = J \frac{d\omega}{dt}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \varepsilon, \quad \frac{d\varphi}{dt} = \omega \quad (30)$$

model systému

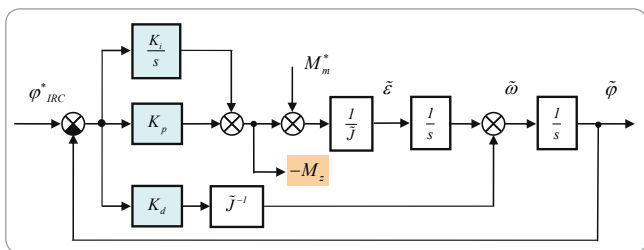
ak pre akčnú veličinu platí  $M_m^* \equiv M_m$ , potom

$$M_m^* - M_z = J \frac{d\tilde{\omega}}{dt}$$

$$\frac{d\tilde{\omega}}{dt} = \tilde{\varepsilon}, \quad \frac{d\tilde{\varphi}}{dt} = \tilde{\omega} \quad (31)$$

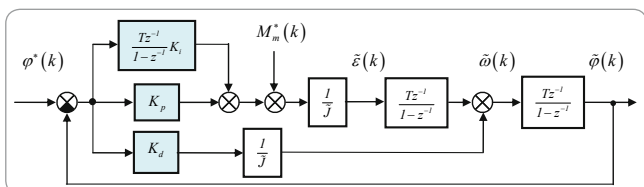
Model snímača predstavuje číslicový model snímača polohy; najčastejšie modelujeme inkrementálny snímač polohy alebo selsyn.

Na výpočet parametrov korekčného člena LP (obr. 31) použijeme zjednodušený spojitý model fyzikálneho systému bez uvažovania dynamiky IRC snímača polohy. Vlastnosťou LP je aj to, že možno pozorovať aj poruchovú veličinu záťažový moment  $M_z$ .



Obr. 31 Bloková schéma spojitého modelu LP s PID algoritmom

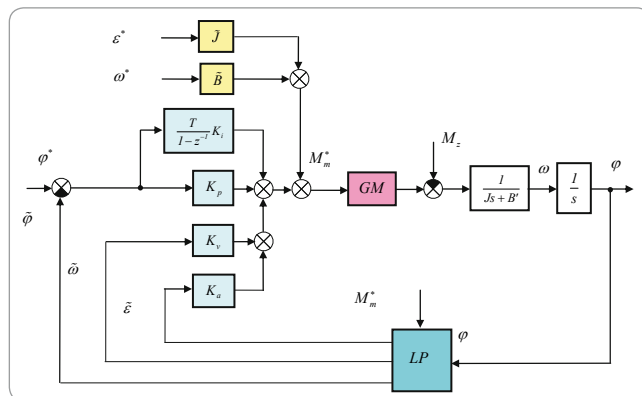
Luenbergerove pozorovatele sa realizujú ako číslicové obvody. Forma realizácie môže byť analogická blokovej schéme regulačného obvodu (obr. 32), kde sa jednotlivé bloky realizujú samostatne alebo ako výpočtový algoritmus.



Obr. 32 Luenbergerov číslicový pozorovateľ polohy, rýchlosti a zrýchlenia s priamym meraním polohy číslicovým snímačom

Aplikáciu LP ilustruje štruktúra číslicového polohového servopohonu, ktorá obsahuje stavové regulátory a predkorekčné väzby. Na obr. 33 je znázornená blokovaná schéma polohového servopohonu s PIVA regulátorom a predkorekčnými väzbami. LP plní funkciu

pozorovateľa polohy, rýchlosti a zrýchlenia. Na simulačnom experimente si ukážeme regulačné vlastnosti LP. Rozhodujúci parameter zabezpečujúci kvalitu regulácie je pásmo priepustnosti. Všimnime si, že pre daný experiment sú pásma priepustnosti regulačného obvodu a LP zhodné.



Obr. 33 Polohový servopohon s LP polohy, rýchlosti a zrýchlenia

Základné parametre simulačného modelu:

$T_vz = 2e - 4; \% [s]$  perióda vzorkovania,

$T_w = 5e - 3; \% [s]$  dynamika GM

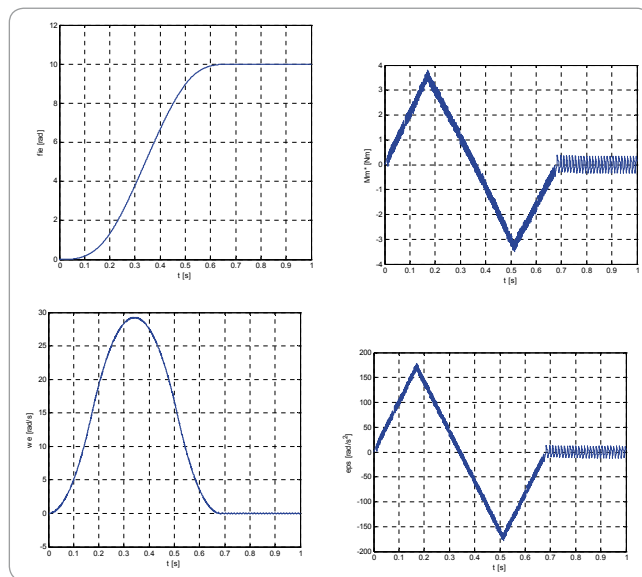
$J = 0,02; \% [kgm^2]$

$B = 0,01; \% [Nms]$

$IRC = 2\ 500; \% [imp./ot.]$

$f_0 = 10; \%$  pásmo priepustnosti polohového systému,

$f_{0l} = f_0; \%$  pásmo priepustnosti LP.



Obr. 34 Priebeh stavových veličín LP polohového servopohonu pri riadení Master-Slave

Simulačný experiment potvrdzuje vhodnosť aplikácie LP ako pozorovateľa polohy, rýchlosti a zrýchlenia v danej aplikácii.

Táto práca vznikla vďaka Agentúre na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. VMSP-II-0015-09.

prof. Ing. Milan Žalman, PhD.

Ústav riadenia a priemyselnej informatiky

FEI STU v Bratislave

milan.zalman@stuba.sk