

Pozorovatele stavových veličín bezsnímačových servopohonov s asynchrónnym motorom (1)

Michal Abelovský
Milan Žalman

Článok sa zaoberá návrhom a realizáciou pozorovateľov stavových veličín rýchlostných bezsnímačových servopohonov s asynchrónnym motorom (AM) s kotvou nakrátko. Uvedené sú výsledky experimentov na simulačnom modeli a reálnom zariadení navrhnutého pozorovateľa uhlovej rýchlosti MRAS vo zvolenej štruktúre rýchlostného bezsnímačového servopohonu s generátorom momentu (GM).

Úvod

V dynamických rýchlostných servopohonoch, kde je postačujúca presnosť regulácie rýchlosti do 1 %, sa uplatňujú tzv. bezsnímačové striedavé servopohony s AM s kotvou nakrátko (bezsímačové – sensorless: bez snímania uhlovej rýchlosti mechanickým snímačom). V priebehu vývoja bezsnímačových štruktúr riadenia AM spočiatku vznikali bezsnímačové servopohony so skalárnym riadením, ktoré využíva rôzne metódy kompenzácie sklzovej rýchlosti. Informácia o rýchlosti sa získava zo statického modelu AM, takže vlastnosti servopohonu sú vyhovujúce len v ustálených stavoch. Uvedené štruktúry riadenia sa uplatňujú v menej náročných aplikáciách.

V súčasnosti sa výskum sústreďuje na bezsnímačové servopohony s AM s dynamickým riadením. Vyžívajú sa v aplikáciách, v ktorých sú vysoké nároky na dynamické riadenie momentu. Bezsnímačové rýchlostné servopohony s AM majú najmä nasledujúce výhody:

- zníženie ceny a zložitosti celého zariadenia,
- vyššiu spoľahlivosť,
- menšie náklady na údržbu,
- vyššiu odolnosť voči šumom v nepriaznivom prostredí.

Bezsímačové rýchlostné servopohony s AM v oblasti systémov riadenia pohybu možno považovať za špeciálnu kategóriu inteligentných technológií – inteligentných servopohonov. Realizácia inteligentných servopohonov je bezprostredne viazaná nielen na výkonné mikroprocesorové systémy, integrované meniče frekvencie, ale aj na aplikáciu neštandardných princípov pozorovateľov stavových veličín a parametrov motora, aplikáciu nových metód syntézy riadenia nelineárnych systémov a aplikáciu metód samonastaviteľných regulátorov.

1. Pozorovatele stavových veličín AM

Pozorovatele stavových veličín a parametrov sú nevyhnutnou súčasťou algoritmov riadenia polohových a rýchlostných servopohonov s AM. Základné rozdelenie môže vychádzať z množiny merateľných veličín motora. Podľa toho môžeme klasifikovať pozorovatele do nasledovných kategórií:

- Pozorovatele s meraním napätia, prúdu a uhlovej rýchlosti $\hat{u}_s, \hat{i}_s, \omega$.
- Pozorovatele s meraním prúdu a uhlovej rýchlosti \hat{i}_s, ω :
 - uplatňujú sa v štruktúrach riadenia s meraním uhlovej rýchlosti, v tzv. uzatvorených štruktúrach riadenia.
- Pozorovatele s meraním napätia, prúdu \hat{u}_s, \hat{i}_s :
 - uplatňujú sa v štruktúrach riadenia bez priameho merania uhlovej rýchlosti – v bezsnímačových štruktúrach riadenia.

Základné metódy pozorovania stavových veličín bezsnímačových rýchlostných servopohonov s AM sa delia na:

Pozorovatele vychádzajúce z dynamického modelu AM

- Priame pozorovatele využívajúce merané statorové napätia a prúdy.
- Adaptívne systémy s referenčným modelom MRAS (model reference adaptive systems).
- Spätoväzobné pozorovatele s adaptáciou (Kalman, Luenberger).

Pozorovatele s umelou inteligenciou

- Systémy založené na fuzzy logike.
- Neurónové siete.
- Neuro-fuzzy systémy.
- Evolučné algoritmy (genetické algoritmy).

Pozorovatele využívajúce vlastnosti konštrukcie motora

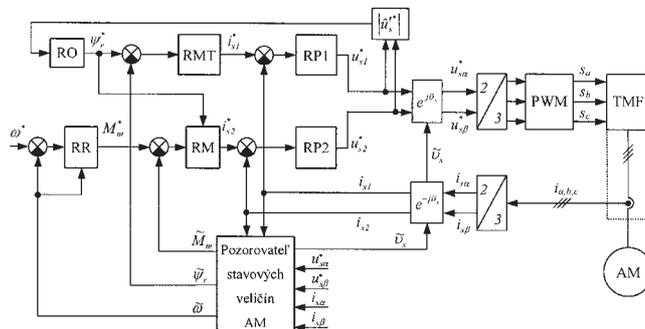
- Vyjadrené póly motora, drážky rotora, asymetria vzduchovej medzery.
- Tretiu harmonickú napätia spôsobenú nasýtením magnetického obvodu.
- Využitie superponovania signálov.

2. Bezsnímačový rýchlostný servopohon s AM

Realizačná bloková schéma bezsnímačového rýchlostného servopohonu je na obr. 1. Vychádza zo štruktúry rýchlostného servopohonu s priamym vektorovým riadením, orientovaným na vektor magnetického toku rotora. RP1 a RP2 sú regulátory zložiek prúdu, RMT je regulátor magnetického toku, RM je regulátor momentu, RO je regulátor odbudzovania a RR je regulátor rýchlosti. Návrh parametrov regulátorov RR a generátora momentu (GM) servopohonu, ktorý je použitý pri experimentoch na simulačnom modeli a reálnom zariadení, je uvedený v prácach [1] resp. [2].

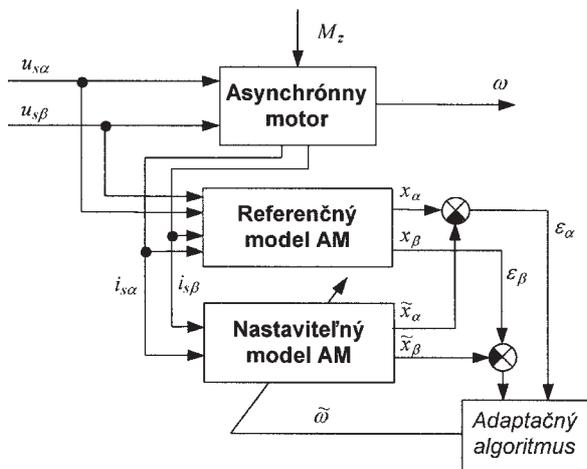
2.1 Pozorovatele uhlovej rýchlosti MRAS

Štruktúra pozorovateľov MRAS vo všeobecnosti obsahuje referenčný nastaviteľný model AM a adaptačný algoritmus. Bloková schéma



Obr.1 Bloková schéma realizácie bezsnímačového rýchlostného servopohonu

ma všeobecného pozorovateľa uhlovej rýchlosti MRAS je na obr. 2. Stavové veličiny AM (napr. vektor magnetického toku alebo indukované napätie) sú pomocou meraných statorových prúdov a napätí pozorované v referenčnom modeli. Tie isté stavové veličiny sú potom porovnávané s prislúchajúcimi stavovými premennými, pozorovanými v nastaviteľnom modeli, ktorý obsahuje uhlovú rýchlosť. Ich rozdiel ε vstupuje do adaptačného algoritmu, ktorého výstupom je uhlová rýchlosť $\tilde{\omega}$, a táto potom spätne vstupuje do nastaviteľného modelu. Odvodenie adaptačného algoritmu v spojitom tvare využíva Popovove kritérium hyperstability.



Obr.2 Bloková schéma štruktúry MRAS pozorovateľa uhlovej rýchlosti

Pozorovateľ uhlovej rýchlosti MRAS s modelom magnetického toku rotora na pozorovanie uhlovej rýchlosti využíva dva nezávislé pozorovatele zložiek vektora magnetického toku rotora. Vzťahy pre referenčný (1a) a nastaviteľný (1b) model.

$$\hat{\psi}_r = \frac{L_r}{L_m} \frac{1}{s} (\hat{u}_s - R_s \hat{i}_s) - \sigma L_s \hat{i}_s \quad (1a)$$

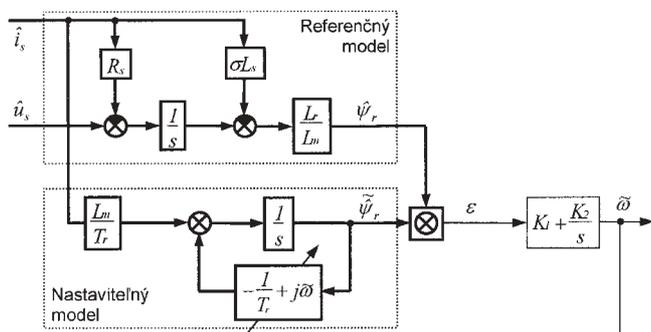
$$\tilde{\psi}_r = \frac{1}{s} \left[\left(-\frac{1}{T_r} + j\tilde{\omega} \right) \tilde{\psi}_r + \frac{L_m}{T_r} \hat{i}_s \right] \quad (1b)$$

Adaptačný algoritmus (3) je odvodený z Popovovho kritéria hyperstability, ktoré zabezpečuje asymptotickú stabilitu odchýlky adaptácie (2), a teda aj pozorovateľa. Bloková schéma pozorovateľa MRAS s modelom magnetického toku je na obr. 3.

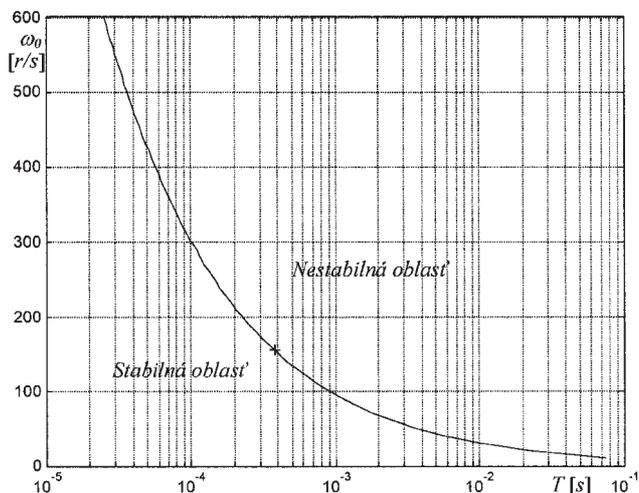
$$\varepsilon = \tilde{\psi}_r \otimes \hat{\psi}_r = \Im(\tilde{\psi}_r^* \hat{\psi}_r) \quad (2)$$

$$\tilde{\omega} = K_1 \varepsilon + K_2 \frac{1}{s} \varepsilon \quad (3)$$

MRAS s modelom toku, podobne ako priamy pozorovateľ, obsahuje čisté integrátory, ktoré sa pri realizácii musia nahradiť jednou z metód integrácie. Experimenty ukázali existenciu hranice stability pozorovateľov MRAS do určitej rýchlosti v závislosti od periódy vzorkovania. Existencia tejto hranice sa potvrdila aj pri odvodení algoritmu adaptácie v diskretnom tvare [1]. Hranica stability diskretného pozorovateľa MRAS rýchlosti s modelom toku v zá-



Obr.3 Bloková schéma pozorovateľa uhlovej rýchlosti MRAS s modelom magnetického toku rotora



Obr.4 Hranica stability diskretného pozorovateľa rýchlosti MRAS s modelom toku

vislosti od periódy vzorkovania je vyjadrená závislosťou, ktorá je uvedená na obr. 4.

Simulačný model je realizovaný v prostredí MATLAB Simulink a pozostáva zo spojitých častí (model AM) a z diskretných častí (riadenie, pozorovateľ a pod.). K ďalším vlastnostiam a parametrom simulačného modelu patrí:

- Perióda vzorkovania diskretných častí, ktorá je $T = 0,38$ ms. Je zvolená vzhľadom na výpočtové možnosti reálneho riadiaceho systému DS 1102 dSPACE.
- Fázové prúdy obsahujúce biely šum a ofset 1 % z I_n .
- Model snímača polohy – IRC s 4 x 1 024 impulzmi na otáčku.
- Neuvažuje sa modulácia PWM.

Literatúra

- [1] ABELOVSKÝ, M.: Pozorovateľ stavových veličín bezsnímačových servopohonov s AM. [Dizertačná práca]. STU FEI KAR 2003, s. 117.
- [2] ŽALMAN, M., JOVANKOVIČ, J.: Syntéza regulátorov vektorovo riadeného asynchrónneho motora metódou inverznej dynamiky. AT&P Journal, 5 (1998), č. 2, s. 70 – 73.
- [3] HOLTZ, J., QUAN, J.: Sensorless Vector Control of Induction Motors at Very Low Speed Speed Using a Nonlinear Inverter. Model and Parameter Identification. In: IEEE Trans. on Ind. Appl., Jul./Aug., 2002, vol. 38, no. 4, pp. 1087 – 1094.
- [4] JANSEN, P. L., LORENZ, R. D.: Accuracy Limitations of Velocity and Flux Estimation Indirect Field Oriented Induction Machines. In: EPE Conf. Brighton England, Sept., 1993, pp. 312 – 318.
- [5] BLASCO-GIMENEZ, R., ASHER, G. M., SUMMER, M., BRADLEY, K. J.: Dynamic Performance Limitations for MRAS Based Sensorless Induction Motor Drives. Part 1: Stability Analysis for the Closed Loop Drive. In: IEEE Proc. Electr. Power Appl., Mar 1996, vol. 143, no. 2, pp. 113 – 122.

Pokračovanie v budúcom čísle.

Ing. Michal Abelovský
prof. Ing. Milan Žalman, PhD.

Katedra automatizácie a regulácie FEI STU
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava
e-mail: michal.abelovsky@elf.stuba.sk
zalman@elf.stuba.sk

42