

Estimace mechanické úhlové rychlosti střídavého pohonu s asynchronním motorem

Martin Kaduch¹

¹Katedra výkonové elektroniky a elektrický strojů, FEI, VŠB – Technická Univerzita Ostrava,
17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba
martin.kaduch@vsb.cz

Abstrakt. Pro vektorové řízení asynchronního motoru je potřeba znát polohu rotoru a velikost mechanické úhlové rychlosti, proto je zapotřebí použít snímač polohy rotoru, resp. Snímač mechanické úhlové rychlosti. V průmyslu existují aplikace, kde nelze tyto snímače použít. V tomto příspěvku budou popsány různé druhy estimace mechanické úhlové rychlosti a budou ukázány výsledky navržené estimace založené na umělé neuronové síti.

Klíčová slova: estimace rychlosti, bezsenzorové řízení, vektorové řízení, umělá neuronová síť

1 Úvod

Střídavé regulační pohony s asynchronními motory jsou předmětem výzkumu na mnoha tuzemských a zahraničních pracovištích. Bylo navrženo a realizováno mnoho strategií vektorového řízení asynchronního motoru podle různých kritérií, např. nízká cena pohonu, vysoce náročné aplikace apod.

Pro zvýšení spolehlivosti a snížení ceny pohonu existuje snaha eliminovat snímače polohy rotoru, resp. mechanické úhlové rychlosti, v aplikacích s vysokými výkony, v agresivním prostředí a v aplikacích v průmyslu, kde je zapotřebí velká mechanická robustnost.

Použitím systému diferenciálních rovnic asynchronního motoru mohou být magnetický tok a mechanická úhlová rychlost vypočítány ze statorového napětí a hodnot statorových proudů. Magnetický tok je vyhodnocen ze statorových napěťových rovnic a mechanická úhlová rychlost je pak získána použitím vypočteného toku a rotorových rovnic.

2 Matematický model asynchronního motoru

Matematický model asynchronního motoru vyjádřený v obecné souřadné soustavě lze popsat následujícími rovnicemi [2, 3, 5]:

$$\bar{u}_s = R_s \bar{i}_s + \frac{d\bar{\Psi}_s}{dt} + j\omega_k \bar{\Psi}_s \quad (1)$$

$$\bar{u}_r = R_r \bar{i}_r + \frac{d\bar{\Psi}_r}{dt} + j(\omega_k - \omega) \bar{\Psi}_r \quad (2)$$

$$\bar{\Psi}_s = L_s \bar{i}_s + L_h \bar{i}_r \quad (3)$$

$$\bar{\Psi}_r = L_r \bar{i}_r + L_h \bar{i}_s \quad (4)$$

kde jsou:

\bar{u}_s, \bar{u}_r	vektory statorového a rotorového napětí (V)
\bar{i}_s, \bar{i}_r	vektory statorového a rotorového proudu (A)
$\bar{\Psi}_s, \bar{\Psi}_r$	vektory spráženého statorového a rotorového toku (Wb)
L_s, L_r, L_h	vlastní indukčnosti statorového a rotorového vinutí, vzájemná indukčnost (H)
R_s, R_r	odpory statorového a rotorového vinutí (Ω)
ω_k, ω	úhlová rychlost rotující soustavy a úhlová rychlost rotoru (rad/s)

3 Metody vyhodnocení mechanické úhlové rychlosti bez použití snímačů

3.1 Estimátory pracující v otevřené smyčce

Estimátory používají k vyhodnocení mechanické úhlové rychlosti pohonu monitorování statorových napětí a proudů. Častěji se místo přímého měření statorových napětí využívá rekonstrukce tohoto napětí ze znalosti spínací kombinace a měření napětí meziobvodu U_d . Přesnost těchto estimátorů je závislá na znalosti parametrů pohonu [6].

3.2 Systém s referenčním modelem

V tomto systému tvoří stavové proměnné složky magnetického rotorového toku nebo indukovaného napětí. Tyto složky jsou pak estimovány v referenčním modelu na základě měření statorových napětí a proudů. Následně jsou srovnávány se stavovými proměnnými získanými z adaptačního modelu. Rozdíl mezi stavovými veličinami slouží jako vstupní veličina pro adaptační mechanismus, z něhož vystupuje estimovaná hodnota mechanické úhlové rychlosti a přizpůsobuje adaptivní model dokud není dosaženo požadovaného chování [7].

3.3 Estimátory využívající drážkové harmonické rotoru

Mechanická úhlová rychlost je získána na základě zvlnění generovaného ve statorovém napětí, resp. proudu díky změnám generovaným přítomností rotorových drážek. Výskytem statorových a rotorových drážek dochází ke změně magnetického odporu. V případě, že m.m.f ve vzduchové mezeře bude obsahovat drážkové harmonické, pak se vlivem otáčení rotoru budou ve statorovém vinutí indukovat drážkové harmonické napětí. Metodou harmonické analýzy se pak získá rotorová frekvence [6].

3.4 Rozšířený Kalmanův filtr

Rozšířený Kalmanův filtr (EKF) je modifikací základního Kalmanova filtru pro nelineární systémy. EKF je rekurzivní filtr, založený na znalosti statistik stavů a šumů vytvořených měření a systémovým modelováním, který může být aplikován na nelineární časově proměnný stochastický systém.

3.5 Estimátory využívající umělé inteligence

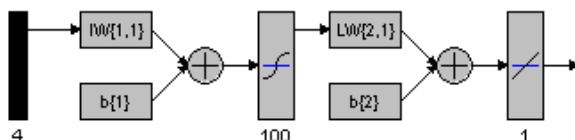
Mechanická úhlová rychlost je u této metody získávána z výstupu umělé neuronové sítě (ANN). Jako vstupní veličiny ANN jsou obvykle použity statorová napětí a proudy. Neuronová síť je pak v režimu off-line natrénovaná sadou vhodných trénovacích vzorů. Trénovací vzory musí obsahovat vzory ze všech pracovních oblastí pohonu, např. vzory pro různé otáčky, zatížení a jejich kombinace, abychom zaručili robustnost systému a chování v mezních stavech. Další možnost jak síť vhodně natrénovat, je možnost trénování metodou on-line. Vstupní veličiny jsou zde získávány měřeními a požadovaný výstup je získán za pomoci metod popsaných výše. Nevýhodou této metody je vysoká náročnost na výpočetní systém.

4 Estimace mechanické úhlové rychlosti pomocí umělé neuronové sítě

4.1 Návrh struktury neuronové sítě

K návrhu vhodné struktury neuronové sítě neexistují žádné doporučené metody. Síť musí být navržena tak, aby celý pohon byl dostatečně dynamický. Příliš složitá síť je náročná na výpočetní výkon, tím se zvyšuje čas regulátoru otáček a celý pohon tak pomaleji reaguje na změny otáček. Dalším důležitým krokem při návrhu neuronové sítě je volba vstupních veličin.

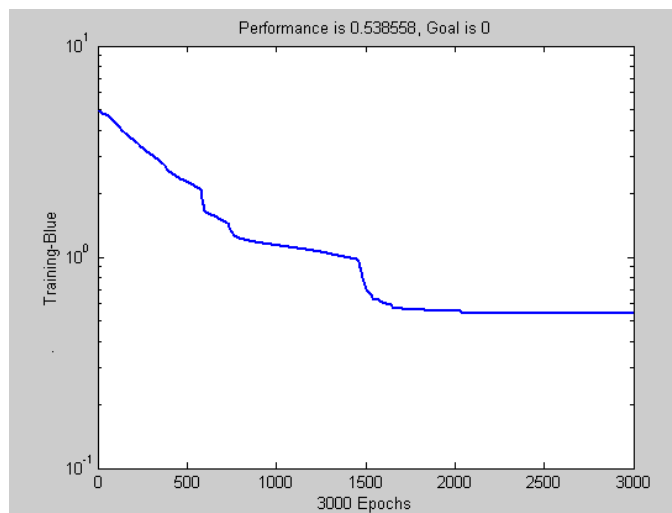
Bylo odzkoušeno několik různých typů sítí s různými vstupy. Nejvhodnější z nich byla síť typu feedforward se vstupními veličinami $u_\alpha, u_\beta, \dot{i}_\alpha, \dot{i}_\beta$. Obrázek 1. ukazuje strukturu navržené umělé neuronové sítě.



Obr. 1. Struktura umělé neuronové sítě

4.2 Učení neuronové sítě

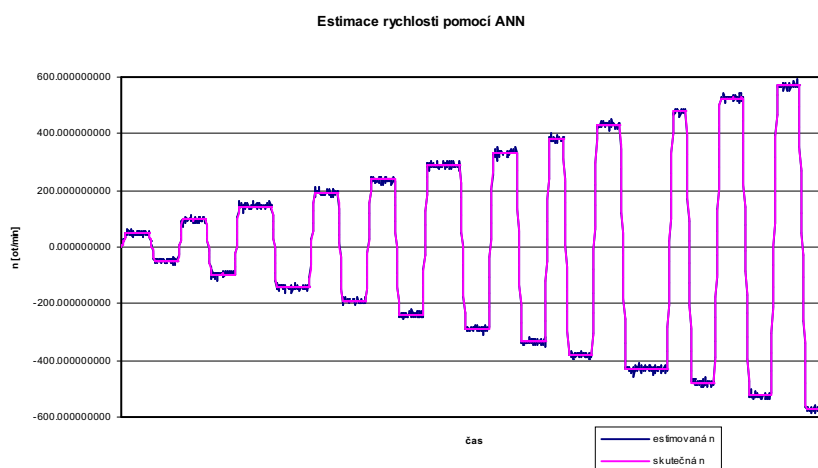
Trénovací data byla získána ze simulace pohonu v programu MathLab. Simulace byla provedena pro nezatížený pohon pro otáčky v rozsahu 0 až 600 ot/min. Potřebné vstupní veličiny byly ukládány ze simulace s periodou 10ms. Data byla dále upravena, aby jej bylo možné použít v Neural Network Toolbox programu MathLab. Jako trénovací algoritmus se nejlépe osvědčil Levenberg-Marquardtův algoritmus. Na obrázku 2. je zobrazen průběh chyby sítě při trénování.



Obr. 2. Průběh chyby umělé neuronové sítě

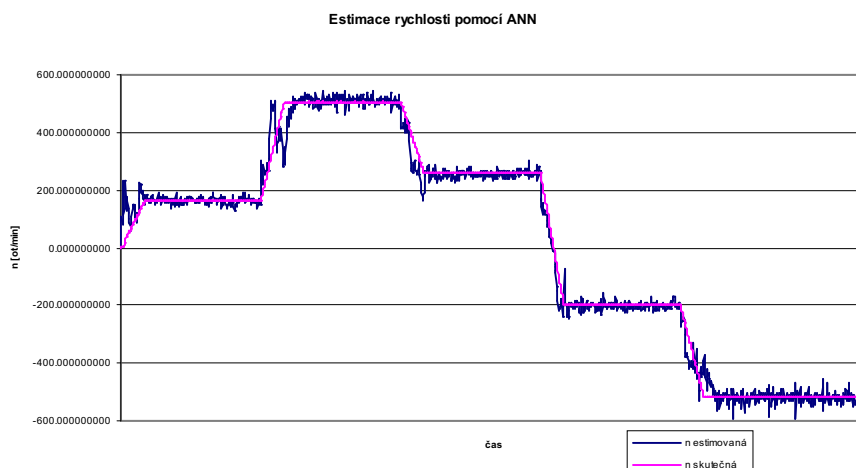
5 Simulační výsledky

Obr.3 ukazuje průběhy skutečné a estimované mechanické úhlové rychlosti. Průměrného rozdílu mezi skutečnou a estimovanou mechanickou úhlovou rychlostí bylo zde dosaženo menšího než 0.0002.



Obr. 3. Průběh skutečné a estimované mechanické úhlové rychlosti

Další obr.4 ukazuje, jak si neuronová síť dokázala poradit s neznámými daty. Otáčky byly zvoleny tak, aby byly různé od otáček, na které byla síť natrénována. Zde byl průměrný rozdíl mezi skutečnou a estimovanou rychlostí menší než 2.4.



Obr.4. Průběh skutečné a estimované mechanické úhlové rychlosti

Reference

1. Brandštetter P. *Střídavé regulační pohony – Moderní způsoby řízení*. VŠB - TU Ostrava, 1999, Ostrava. ISBN 80-7078-688X.
2. Hagan M.T., Demuth H.B., Beale M. *Neural Network Design*. PWS Publishing Company, 1995, Boston. ISBN 0-534-94332-2.
3. Neborák Ivo. *Modelování a simulace elektrických regulovaných pohonů*. VŠB - TU Ostrava, 2002, Ostrava. ISBN 80-248-0083-7
4. Neves F.A.S., Habetler T.G., Parma G.G., Menezes B.R., Silva S.R. An Evaluation of Sensorless Induction Motor Drives for Low Spees Operation. Sborník konference *COBEP 99*.
5. Skotnica M. *Aplikace neuronových sítí v elektrických pohonech*. Doktorská disertační práce. VŠB-TU Ostrava, 1999.
6. Vinklárek D. Vektorové řízení asynchronního motoru bez použití čidla otáček. Doktorská disertační práce. VŠB-TU Ostrava, 2002.
7. Brandštetter P., Kuchař M., Palacky P., Vinklárek D. Sensorless Induction Motor Drive with Vector Control. Sborník konference *EPE-PEMC 2002*. Dubrovnik, Croatia, 2002.

Acknowledgement

In the paper are the results of the project LN00B029, which was supported by The Ministry of Education of Czech Republic. This research was supervised by Prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.

Annotation:

In this paper different rotor position estimation methods without speed/position sensors, applied in induction motor drive, are considered. The neural network rotor position estimator for induction motor is detailed explain. The simulation results are presented.