

# Optimalizace účinnosti elektrického pohonu s AM pomocí fuzzy logiky

Libor Štěpanec

Katedra výkonové elektroniky a elektrických pohonů, FEI, VŠB – Technická univerzita  
Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava-Poruba  
libor.stepanec@vsb.cz

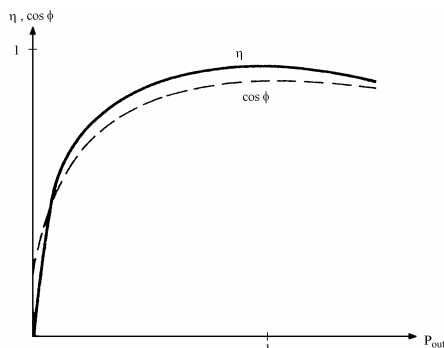
**Abstrakt.** Příspěvek se zabývá problematikou uplatnění části oblasti umělé inteligence, do které spadá i fuzzy logika, v oblasti řízení střídavých regulačních pohonů. Jelikož je v dnešní době kladen důraz na hospodárnost a úspory elektrické energie je v tomto příspěvku uvedena možnost zlepšení účinnosti celého regulačního pohonu při jeho chodu při nízkých zatíženích v součinnosti s jeho ustáleným stavem. V konkrétním případě se jedná o zlepšování účinnosti elektrického pohonu s vektorovým řízením, kdy je pomocí tohoto řízení možno odděleně regulovat tokotvornou a momentotvornou složku statorového proudu.

**Klíčová slova:** vektorové řízení, fuzzy logika, asynchronní motor, účinnost

## 1 Úvod

V dnešní době spotřebovávají indukční motory velkou část vyrobené energie [6]. Proto se stále věnuje pozornost a úsilí pro zlepšení jejich účinnosti. Úsilí pro zlepšení účinnosti je zaměřeno jak na vylepšení materiálů, změnu návrhu a konstrukční techniky, ale také jsou další možnosti pro vylepšení účinnosti zvláště při provozu motoru s částečným zatížením. Účinnost pohonu je komplexní funkcí typu použitého stroje, topologie měniče a modulačního algoritmu. Další důležitý vliv na účinnost pohonu má také řídicí systém. Systém s pohonem, který normálně pracuje při jmenovitém toku, přináší rychlejší odezvy v přechodových stavech. V závislosti na velikosti a typu motoru může jmenovitá hodnota účinnosti dosahovat 80 nebo 90% s účinnkem od 0,7 – 0,9. Avšak při částečném zatížení se technické parametry zhoršují. Typické charakteristiky účinnosti a účinníku AM jsou znázorněny na *obr.1.* jako funkce výstupního výkonu.

Je patrné, že při snížení momentu z jmenovité hodnoty se také výrazně sníží  $\cos \varphi$  a  $\eta$  a účinnost celého pohonu klesá. Nízká účinnost při částečném zatížení je významným zdrojem plýtvání energie, protože velké množství indukčních motorů pracuje v oblastech s částečným zatížením pouze po část pracovního cyklu nebo je částečně zatížen způsobeno z důvodu předdimenzování pohonu. Mnoho pohonů tak pracuje při částečném zatížení po většinu času. Při provozu s jmenovitým tokem v nízkých zatíženích způsobuje magnetizační proud nadměrné ztráty v železe a následkem tohoto jevu je snížena účinnost pohonu.

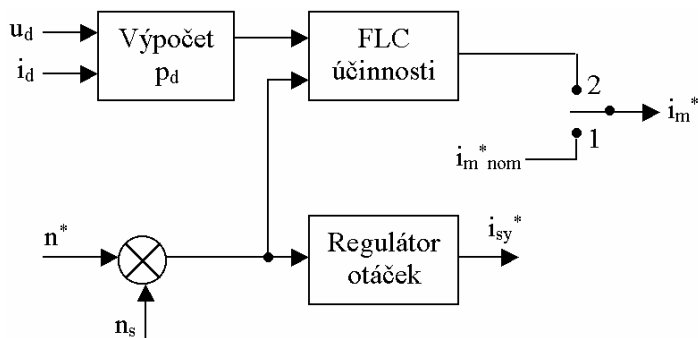


Obr. 1. Změna účinnosti a účinníku AM.

## 2 Struktura FLC pro optimalizaci účinnosti

V této části je popsán fuzzy logický regulátor pro optimalizaci účinnosti, který je použit na pohonu s vektorově řízeným AM v ustáleném stavu. Optimalizace je založena na změně magnetizačního proudu na úroveň požadovanou pro minimální ztráty, nebo jinými slovy, zajištění maximální účinnosti. Výstupem regulátoru je proto změna magnetizačního proudu statoru.

Při nízkém zatížení v ustáleném stavu může FLC měnit magnetizační proud za pomoci sledování vstupního výkonu, který musí být minimalizován pro danou zátěž a rychlost za účelem zajištění maximální účinnosti. Jakmile je magnetizační proud změněn, změní se také rotorový tok. Struktura pro optimalizaci účinnosti, která je implementována do vektorového řízení AM je zobrazena na obr. 2.



Obr. 2. Struktura bloku pro optimalizaci účinnosti.

Regulátor optimalizace účinnosti je efektivní pouze v ustálených stavech, když se nachází regulační odchylka rychlosti blízko k nule ( $\Delta\Omega \approx 0$ ). Nevýhodou tohoto regulačního režimu je zpomalení přechodových dějů. Proto jsou použity v pohonu dva

módy řízení pro odpovídající případ. Na počátku, během rozběhu systém pracuje v režimu 1, který je určen pro řízení přechodových dějů a po dosažení ustáleného stavu je přepnut do módu 2, který je režimem řízení v ustáleném módu, tj. když je absolutní odchylka rychlosti menší než nastavená hodnota tolerance. Pro změnu zatížení nebo žádané hodnoty může být obnoven rychlý přechodový děj nastavením jmenovitého toku (který je úměrný jmenovité hodnotě magnetizačního proudu). Obr. 2. znázorňuje detailněji část implementace FLC účinnosti.

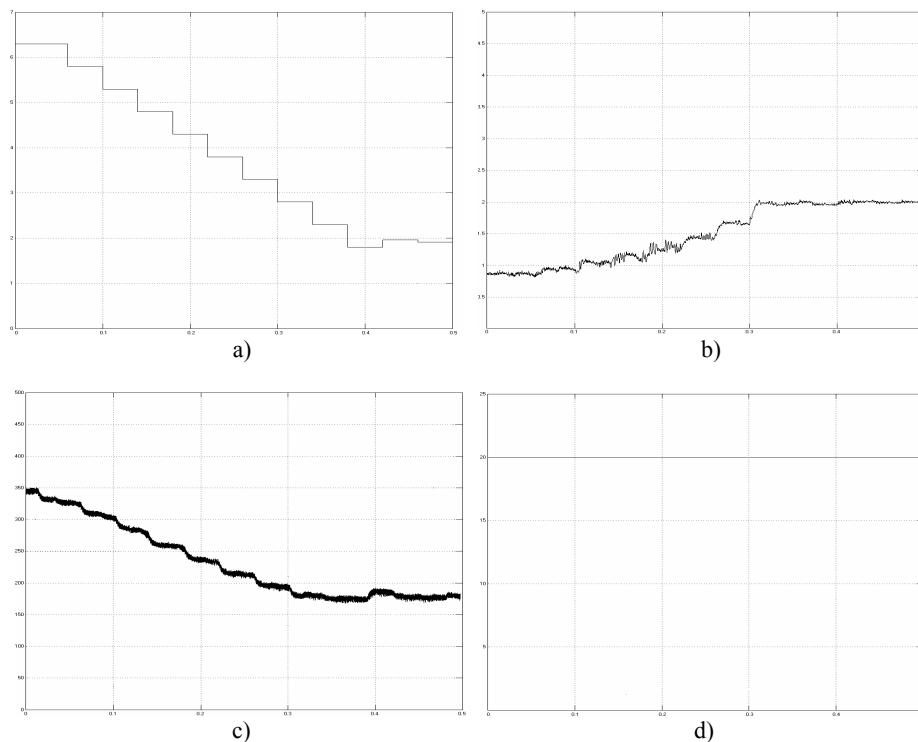
Z uvedených podkladů vyplývají pro FLC veličiny pro vstup, jimiž jsou změna  $P_d$  a změna magnetizačního proudu. Tabulka 1. pak uvádí *podmínky*, které jsou implementací fuzzy logického regulátoru. Podle veličin v tabulce pro dva vstupy a jeden výstup jsou požadovány funkce příslušnosti pro tři veličiny regulátoru. Opět je prováděno namapování funkcí příslušnosti do jednotkových univerz pro vstupní i výstupní veličiny. Pro změnu výkonu SS meziobvodu bylo zvoleno sedm funkcí příslušnosti, pro předchozí změnu magnetizačního proudu jen dvě funkce příslušnosti, protože hlavní informací je znaménko předchozí změny magnetizačního proudu (kladné nebo záporné), které určuje směr hledání. Bod minimálních ztrát může být obvykle dosažen přibližně v 10 krocích magnetizačního proudu. Délka kroku je rovna vzorkovací periodě FLC a je relativně velká (např. 0,1s), protože je zde závislost na pomalé dynamice rotorového toku.

$\Delta i_m \setminus \Delta p_d$	PL	PM	PS	ZE	NS	NM	NL
N	PM	PS	PS	ZE	NS	NM	NL
P	NM	NS	NS	ZE	PS	PM	PL

**Tabulka 1.** Tabulka podmínek FLC optimalizace účinnosti.

### 3 Výsledky simulačního ověření

Navržený účinnostní FLC byl ověřen na popsaném matematickém modelu. V případě modelu struktury vektorového řízení AM lze podrobnější popis nalézt v literatuře [4]. Regulátor účinnosti je aktivován podle předchozího popisu v módu ustáleného stavu. Pro experiment je použito nastavení při zatížení motoru 0,1  $M_n$  (odpovídající částečnému zatížení) a taktéž snížených otáčkách. Změny žádaného magnetizačního proudu a momentotvorného proudu jsou zobrazeny v horní části obrázku 3. V čase  $t = 0s$  začíná regulace účinnosti a magnetizační proud je snižován v závislosti na vstupních veličinách a to dodávaného výkonu SS meziobvodem a předchozí změně magnetizačního proudu. Magnetizační proud je krokovitě snižován v důsledku přírůstkových změn provedených činnostním regulátorem.



**Obr. 3.** Průběhy veličin optimalizace účinnosti v ustáleném stavu :  
 a) žádaná hodnota magnetizačního proudu  $I_m^*(t)$  [A,s]  
 b) skutečná hodnota momentotvorného proudu  $I_y(t)$  [A,s]  
 c) výkon SS meziobvodu  $P_d(t)$  [W,t]  
 d) skutečné otáčky  $\Omega(t)$  [rad/s,s]

## 4 Závěr

V tomto příspěvku bohužel není dostatek prostoru pro prezentaci dosažených výsledků během celého doktorského studia, z tohoto důvodu je v příspěvku uveden pouze jeden příklad aplikace fuzzy logiky do oblasti elektrických regulačních pohonů. Dalšími zkoumanými oblastmi je například implementace fuzzy supervizora pro adaptaci parametrů regulátoru spínaného reluktančního motoru, dále pak aplikace a porovnání rychlosti různého začlenění fuzzy regulátoru otáček do struktury vektorového řízení elektrického pohonu. Posledně jmenovaný případ byl pak proveden jak simulačně tak experimentálně na laboratorním systému v laboratořích naší katedry.

Vzhledem k výše uvedenému příspěvku je dobré poznamenat, právě výhodnost použití fuzzy logiky na obtížně popsatelné soustavy, avšak se znalostmi například při operátorském řízení. Další vhodnou volbou použití fuzzy logiky jsou obecně

nelineární regulátory v nelineárních systémech nebo například oblasti logického řízení.

## Seznam autorových prací

1. Štěpanec, L.: *Inteligentní nabíječka trakčních akumulátorových baterií*, Diplomová práce, VŠB-TU Ostrava, 2000.
2. Brandštetter P., Štěpanec, L., Pavelek, P.: *Intelligent Traction Battery Charger, TRANSCOM 2001*, Univerzita v Žilině, 2001, ISBN 80-7100-847-8
3. Brandštetter P., Štěpanec, L.: *Fuzzy Logic Control of Induction Motor Drive, IWCIT'01*, VŠB-TU Ostrava, 2001, ISBN 80-7078-907-7
4. Brandštetter P., Štěpanec, L.: *Vektorové řízení AM s fuzzy regulací, EE – odborný časopis pre elektroniku a energetiku*, vol. 7, Trenčín, 2001
5. Brandštetter P., Štěpanec L.: *Fuzzy Logic Control of Induction Motor Drive, Poster 2002*, ČVUT Praha, 2002
6. Brandštetter, P., Kuchař, M., Štěpanec, L.: *Aplikace umělé inteligence v oblasti elektrických regulačních pohonů, SYMEP 2002*, TU Liberec, 2002, ISBN 80-7083-612-1
7. Brandštetter P., Štěpanec L.: *Fuzzy logika v regulaci střídavých elektrických pohonů, EE – odborný časopis pro elektroniku a energetiku*, vol. 8, Trenčín, 2002
8. Brandštetter P., Štěpanec L.: *Aplikace fuzzy logiky v řízení elektrického pohonu s asynchronním motorem a vektorovým řízením, Acta Metallurgica Slovaca*, ročník 8, číslo 4, 2002, str. 470-474, ISSN 1335-1532
9. Štěpanec, L.: *Advantages of Fuzzy Logic Application in Electrical Drives, Elektrotechnika a Informatika 2002*, ZČU Plzeň, 2002
10. Brandštetter, P., Kuchař, M., Štěpanec, L.: *Aplikace umělé inteligence v řízení elektrických regulačních pohonů, Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, řada elektrotechnická, číslo 1/2003, ročník VI, ISBN 80-248-0223-6
11. Brandštetter P., Štěpanec, L.: *Simulation and Implementation of IM Drive Using Fuzzy Logic, POSTER 2003*, ČVUT Praha, 2003
12. Brandštetter P., Štěpanec L.: *DSP implementation and simulation of IM Drive using fuzzy logic, TRANSCOM 2003*, Univerzita Žilina, 2003, ISBN 80-8070-090-X
13. Brandštetter P., Štěpanec L.: *Fuzzy Logic in Vector Controlled Induction Motor Drive, EPE 2003*, Toulouse, Francie, 2003, ISBN 90-75815-07-7
14. Brandštetter P., Štěpanec L.: *Fuzzy Logic in Vector Control of Induction Motor Drive, EDPE 2003*, Vysoké Tatry, Slovensko, 2003
15. Brandštetter P., Štěpanec L.: *Fuzzy supervisor pro regulaci proudu SRM, ELOSYS 2003*, Trenčín, 2003
16. Brandštetter P., Štěpanec L.: *DSP implementation and simulation of IM Drive using fuzzy logic. Časopis Communication 2003*, Univerzita Žilina, 2003

## Řešené grantové projekty

1. CEZ: J17/98:272400014 - Výzkum prostředků pro zvyšování jakosti elektrotechnických produktů, dílčí úkol s názvem: Optimalizace elektromechanické přeměny elektrické energie, 2001 – 2003, (člen řešitelského týmu).
2. LN00B029 - Materiálově-technologické výzkumné centrum – dílčí úkol: Výzkum nových metod řízení střídavých regulačních pohonů, 2002 – 2003, (člen řešitelského týmu).
3. FRVŠ 438/2002 - Aplikace fuzzy logiky v řízení elektrických regulačních pohonů, 2002, (zodpovědný řešitel)

## Reference

1. Brandštetter, P.: *Střídavé regulační pohony - moderní způsoby řízení*, VŠB-TU Ostrava, 1999, ISBN 80-7078-668-X
2. Demuth, H., Beale, M.: *Neural Network Toolbox for Use with Matlab*, User's Guide version 4, The MathWorks, Inc., 2001
3. The MathWorks: *Fuzzy logic Toolbox for Use with Matlab*, User's Guide version 2, www.mathworks.com, 2002
4. Neborák I.: *Modelování a simulace elektrických regulovaných pohonů*, VŠB-TU Ostrava, 2002, ISBN 80-248-0083-7
5. Texas Instruments: *TMS 320C40 Users Guide*, Digital Signal Processing Product, 1995
6. Vas, P.: *Artificial-Intelligence-Based Electrical Machines and Drives*, Oxford Science Publication, New York, 1999, ISBN 0-19-859397-X

## Annotation:

### *Induction motor drive with fuzzy logic efficiency optimization*

This paper deals with application of part of artificial intelligence, especially fuzzy logic, to control of variable speed induction motor drive. Because induction motors consume approximately 2/3 of industrial energy, thus continued efforts are being made to improve their efficiency. In this contribution it is shown one possible technique to improve efficiency of drive with induction motor. This fuzzy logic efficiency control is efficient in steady state. Especially good results are obtained in the case of low load. In this case is discussed application of efficiency optimization in drive with vector control.

## Acknowledgement

In the paper there 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.