

ADAPTACE PARAMETRU SIMULAČNÍHO MODELU ASYNCHRONNÍHO STROJE

PARAMETR ADAPTATION IN SIMULATION MODEL OF THE ASYNCHRONOUS MACHINE

Oktavián Strádal¹

Anotace: Článek ukazuje použití metod umělé inteligence pro adaptaci parametru simulačního modelu, který se během simulace mění. Těchto metod je použito k aproximaci spojité funkce. Použití této metody je ukázáno na adaptaci parametru simulačního modelu asynchronního stroje, který se mění vlivem jeho magnetických vlastností.

Klíčová slova: Umělá inteligence, adaptace parametru, asynchronní stroj

Summary: The paper deals with utilization of artificial intelligence methods for simulation model parameter, which is changed during simulation experiment. These methods is used for approximation of continuous functions. Application of that methodology is demonstrated on the parameter adaptation related to simulation model of an asynchronous machine. The mentioned adaptation depends on the changing magnetic properties.

Key words: Artificial intelligence, parameter adaptation, asynchronous machine

1. ÚVOD

Základním principem simulace systémů je vyvozování poznatků o simulovaném systému. Proto požadujeme, aby prvky tohoto systému odpovídaly aktuální a pravdivé představě.

Jednou ze stále dynamicky se rozvíjející oblasti jsou elektrické pohony. Jedním ze zařízení jeho výkonové části je elektrický stroj. Nejčastěji používaným typem je asynchronní stroj. Jedním z důvodů je možnost regulace rychlosti. Pro kvalitní řízení otáček je nutno asynchronní stroj napájet ze zdroje proměnného kmitočtu a napětí. Jedná se o poměrně složitá zařízení z hlediska výkonové části a řízení. Asynchronního stroje pracuje při přesně definovaných podmínkách, kdy je nutné dodržet zadaný průběh určité veličiny stroje, nejčastěji momentu a rychlosti.

Pro rozbor práce asynchronního stroje mají velký význam náhradní schémata a matematické modely umožňující názorně stanovit závislosti mezi veličinami, které

¹ Ing. Oktavián Strádal, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra informatiky v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice, tel.: +420466036182, fax +420466036094, e-mail: oktavian.stradal@upce.cz

charakterizují jednotlivé stavy asynchronního stroje. Pro zvolené metody řízení napájecích zařízení je nutno získávat řídicí signály, které se odvozují (vyhodnocují) z mnoha typů schémat nebo z různých modelů asynchronního stroje.

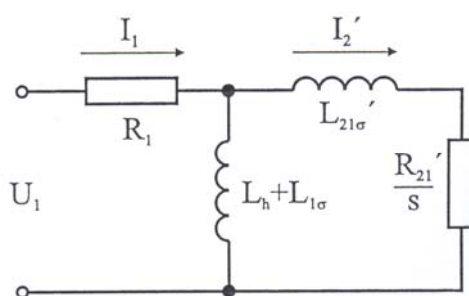
Klasické modely vycházejí ze znalosti matematického modelu soustavy a předpokládají, že parametry stroje mají neměnnou strukturu a konstantní parametry. Tyto předpoklady však nejsou většinou v praktickém provozu z mnoha důvodů splněny. Parametry pohonu se mění, což vede v lepším případě ke zhoršení dynamiky a někdy i k nestabilitě soustavy.

Pro kvalitní řízení ve všech provozních situacích je nutno asynchronní stroj napájet ze zdroje proměnného kmitočtu a proměnného napětí s takovými vlastnostmi, aby byly dodrženy požadavky nejen běžného provozu, ale i veškerých mezních situací včetně havárií. Regulované pohony s asynchronními stroji jsou oblastí, v níž se uplatňují nové metody automatického řízení.

Při návrhu je vhodné navržené řešení modelovat a simulovat, čímž se ušetří mnoho času a nákladů.

2. MODEL ASYNCHRONNÍHO STROJE S ADAPTOVANOU HLAVNÍ INDUKČNOSTÍ

Elektrické pohony včetně poháněných zařízení jsou dynamickými soustavami, pro jejichž řízení se využívá jak klasických tak moderních algoritmů. Popsané algoritmy řízení vyžadují pro návrh znalost matematického modelu řízené soustavy. Důležitou částí tohoto modelu je i matematický model asynchronního stroje, který vychází z jeho náhradního schématu. Rovnice a z nich vytvářené modely jsou většinou odvozovány za určitých zjednodušujících předpokladů. V praktickém provozu však tyto předpoklady splněny nejsou. Klasický matematický model asynchronního stroje se užívá nejčastěji při automatickém řízení elektrických pohonů. Model vychází z parametrů náhradního schématu asynchronního stroje v ustáleném stavu.



Zdroj: [12]

Obr. 1 - Náhradní schéma jedné fáze asynchronního stroje

Při sestavování modelu asynchronního stroje, se jeho parametry zpravidla považují za konstantní. To vede k nepřesnému výsledku simulace. Jedním z parametrů stroje je i hlavní indukčnost L_h , která je závislá na magnetickém sycení feromagnetického obvodu stroje.

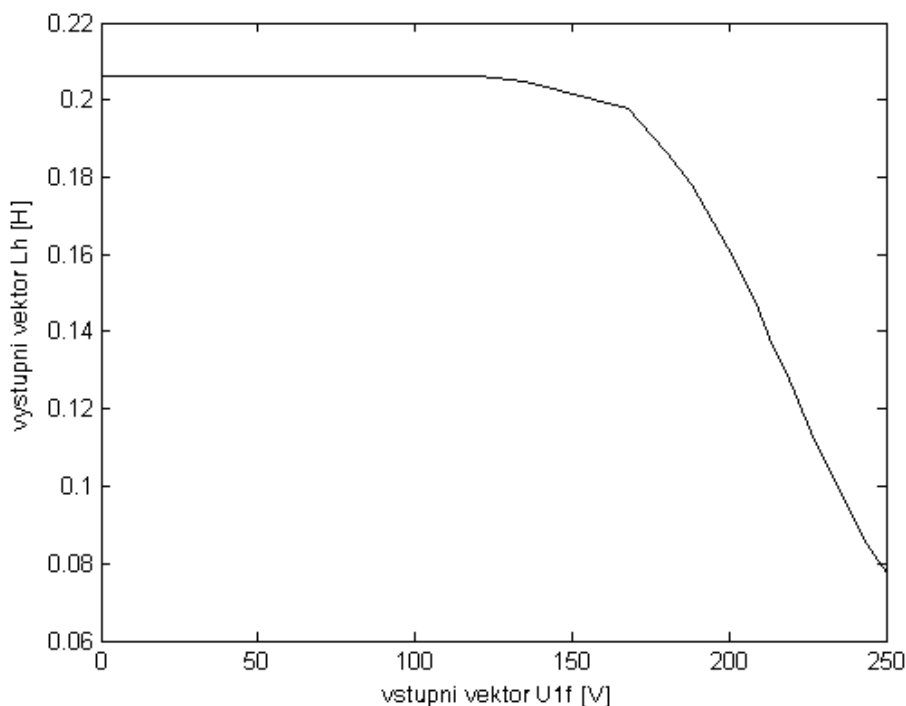
Magnetizační charakteristika stroje $\Phi = f(Fm)$ je základní charakteristikou elektrického stroje. Je základem pro konstrukci dalších charakteristik. Umožňuje též posoudit nasycení magnetického obvodu stroje. Tato charakteristika je v pracovní oblasti u reálného

asynchronního stroje nelineární. To je dáno snahou o maximální magnetické využití stroje a proto se jmenovitý pracovní bod pokládá na této magnetizační charakteristice již do oblasti s nekonstantní L_h . Se změnou skluzu se mění magnetický tok a tedy i sycení magnetického obvodu, a proto se mění hlavní indukčnost L_h . Model respektuje vliv sycení a adaptuje velikost L_h v závislosti na napájecím napětí a kmitočtu. Hodnoty L_h pro jednotlivá napětí jsou vypočteny z výsledků měření motoru naprázdno.

V modelu asynchronního motoru je provedena adaptace hodnoty hlavní indukčnosti pomocí metod umělé inteligence. Jde o model respektující nelinearitu magnetizační charakteristiky sestavený pomocí neuronové sítě, fuzzy logiky a neuro-fuzzy systému. Sestavení a práce s modelem bylo provedeno v programu MATLAB, nadstavbě Simulink. Pro vytvoření aproximačních modelů je vybrána množina z naměřených a vypočtených hodnot asynchronního stroje při kmitočtu $f = 50$ Hz. Vstupní hodnotou je napětí a výstupní hodnotou hlavní indukčnost (tab. 1).

Tab. 1 - Vybraná množina vstupních a výstupních hodnot

U_{1f} [V]	135	168	180	188	202	208	214	218	226	230	237	244	250
L_h [H]	0,22	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,11	0,11	0,10	0,08	0,08



Zdroj: Autor

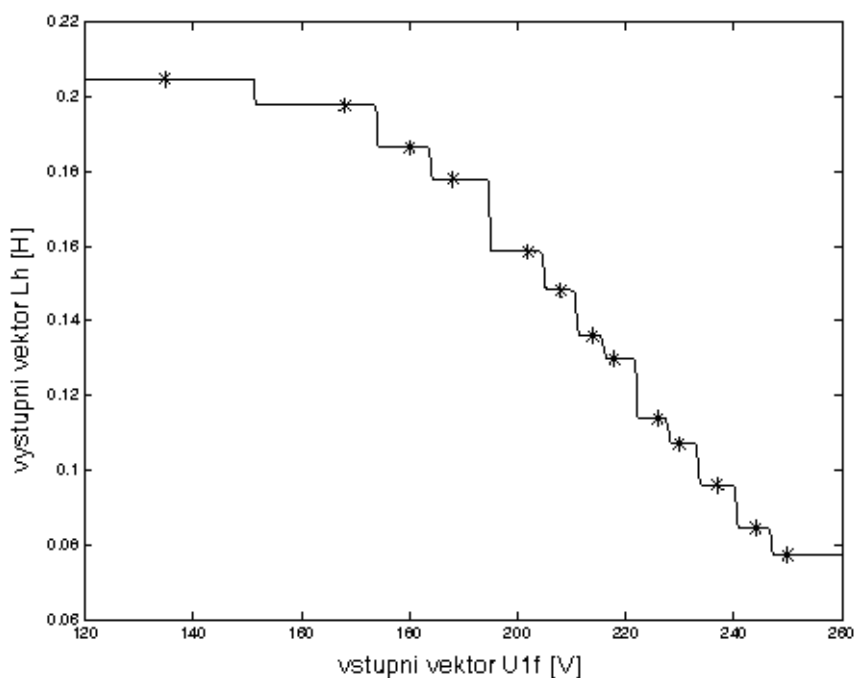
Obr. 2 - Množina vstupních a výstupních hodnot

3. MODEL SESTAVENÝ POMOCÍ NEURONOVÉ SÍTĚ

Model je sestaven pomocí neuronové sítě. Pro navrhovaný model byla zvolena jako nejvhodnější neuronová síť typu RBF (Radial Basic Function). Sítě regresního typu jsou mimo jiné vhodné též k aproximaci a interpolaci funkcí. Jedná se o vícevrstvou síť se dvěma vrstvami neuronů, vstřícným šířením signálu a učením s učitelem. Výběr optimálního typu sítě je důležitý z hlediska kvality výsledků. Pro usnadnění výběru vhodného typu sítě jsou vyvinuty i některé algoritmy, které jsou schopny postupným testováním jednotlivých typů sítí výběr do značné míry optimalizovat, aniž by bylo nutné provádět manuálně celou řadu experimentů. Aproximačními vlastnostmi neuronových sítí rozumíme jejich schopnosti odpovídat na zadané vstupní hodnoty takovou výstupní hodnotou, která je blízko hodnotě zadané funkce v argumentu, který obsahuje vstupní hodnoty sítě. Tyto předpoklady pro řešení dané úlohy splňuje zobecněná regresní neuronová síť GRNN (Generalized Regression Neural Network). Jedná se o vícevrstvou generalizovanou síť RBF, realizující radiální báze funkce (Radial Basic Function). Jde o funkce, které podle zvoleného kritéria co nejlépe aproximují zadanou posloupnost dat. Využívá se lineární kombinace bazických funkcí.

Sestavení a učení neuronové sítě obsahuje:

- určení pozic středů RBF jednotek, které jsou reprezentovány vahami c_{ij} mezi vstupní a druhou vrstvou
- nastavení parametrů RBF jednotek, zejména šířky σ v aktivační funkci, která má vliv na generalizační vlastnosti sítě
- učení s učitelem, úkolem je nastavení synaptických vah mezi druhou a třetí vrstvou



Zdroj: Autor

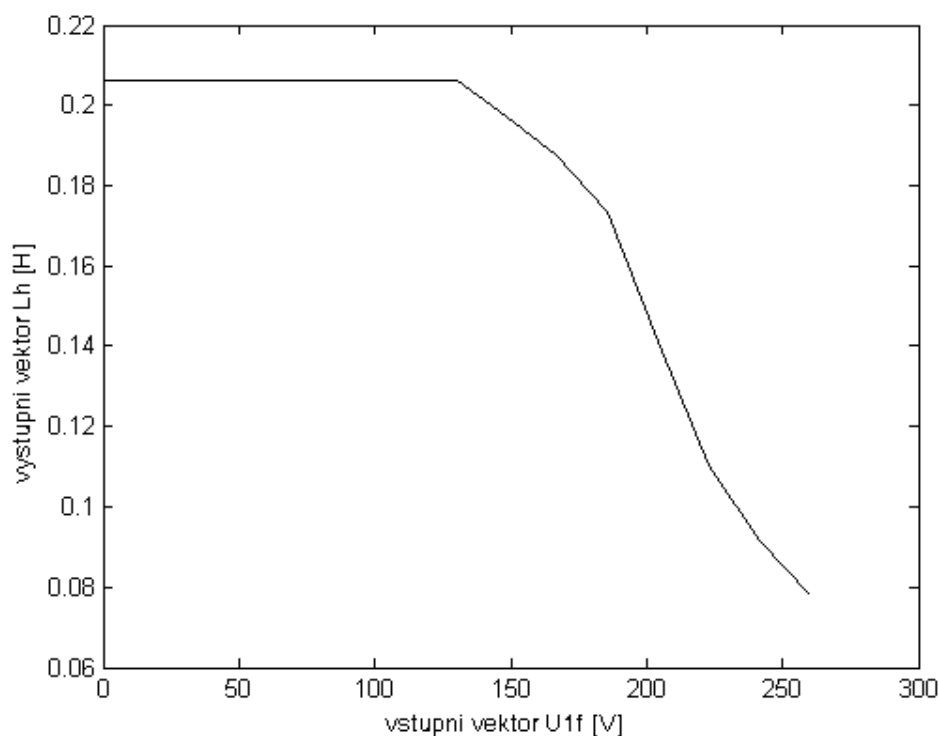
Obr. 3 - Adaptace parametru pomocí neuronové sítě GRNN

4. MODEL SESTAVENÝ POMOCÍ FUZZY LOGIKY

Pomocí fuzzy systému můžeme aproximovat funkci (obecně nelineární) jedné nebo více proměnných. Jedná se o druh aproximace, který využívá slovního popisu, a proto je nazýván jazyková (lingvistická) aproximace. Tato aproximace je jednou z aproximačních metod, mající určité přednosti. Za první lze považovat to, že fuzzy aproximace umožňuje využít kvalitativních znalostí (zkušenosti, znalosti, heuristika) o funkci, kterou aproximujeme. Druhou předností může být vlastnost této aproximace, kterou bychom mohli nazvat lokální citlivost. V případě aproximace fuzzy systémem lze docílit lokální změny pouze změnou konsekventu patřičného pravidla a navíc velikost této lokální oblasti, kde dojde ke změně, lze ovlivnit šířkou fuzzy množin, které se nacházejí v antecedentu tohoto pravidla. Změnou nosiče fuzzy množiny vstupní proměnné lze ovlivňovat funkční hodnoty na celé podmnožině definičního oboru aproximované funkce.

Sestavování fuzzy systému má následující kroky:

- fuzzyfikace – hodnoty průběhu funkce $l_h=f(u_1)$ jsou převedeny na neurčité hodnoty
- stanovit vyhodnocovací kritéria - na základě daného kritéria jsou ze vstupních neurčitých hodnot určeny výstupní hodnoty
- defuzzyfikace - výstupní neurčité hodnoty jsou převedeny na výstupní veličinu



Zdroj: Autor

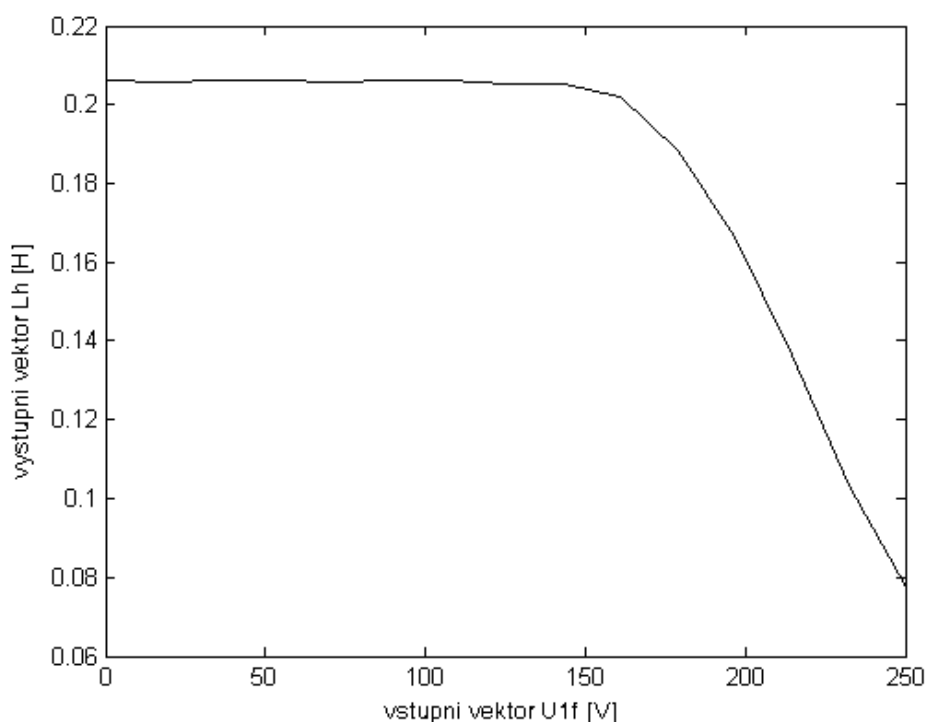
Obr. 4 - Adaptace parametru pomocí fuzzy systému

5. MODEL SESTAVENÝ POMOCÍ NEURO-FUZZY SYSTÉMU

Neuro-fuzzy systém je vytvořen tak, že interpretuje fuzzy systém a je zachována výhoda neuronové sítě schopnost učit se na příkladech a po naučení vystihnout skryté, nelineární závislosti. Jde o kombinaci fuzzy systému a neuronové sítě. Navenek se jeví jako fuzzy systém, který je vnitřně realizovaný neuronovou sítí. Schopnost učení je shodná s neuronovými sítěmi a zároveň je zachována znalostní reprezentace fuzzy systému. Lingvistické proměnné se nastavují při učení neuronové sítě na rozdíl od fuzzy aproximace, kde tato činnost závisí výhradně na expertovi. Jedním z neuro-fuzzy systémů je adaptivní dopředná neuronová síť, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Tato síť je funkčně ekvivalentní fuzzy inferenčnímu systému typu Sageno.

Sestavování ANFIS představuje:

- inicializaci a generování
- trénování
- testování a ověřování



Zdroj: Autor

Obr.5 - Adaptace parametru pomocí ANFIS

6. ZÁVĚR

Přínosem je vytvoření modelu asynchronního stroje, ve kterém se adaptuje vybraný parametr. Modely byly vytvořeny v programovém prostředí Matlab, modul Simulink, kde také probíhalo jejich testování. Uvedená metodika umožňuje využití v obdobných případech, kdy je třeba adaptovat (aproximovat) některý z parametrů simulačního modelu.

Príspevek vznikl za podpory Institucionálního výzkumu MSM 0021627505 „Teorie dopravních systémů“ Univerzity Pardubice.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BARTOŠ, S. Napěťové střídače pro napájení asynchronních trakčních motorů ve vozidlech elektrické trakce, habilitační práce Univerzita Pardubice, září 1996.
- [2] BEDNÁRIK, B., DRÁBEK, J., POSPÍŠIL, M., VALUŠKA, J. Metodika návrhu elektrického pohonu trakčního vozidla s asynchronními motormi, časopis Komunikácie, č.1/99, str. 18-30.
- [3] BÍLA, J. Umělá inteligence a neuronové sítě v aplikacích, Skriptum ČVUT, 1998.
- [4] CAHA, Z. ČERNÝ, M. Elektrické pohony, SNTL, 1990.
- [5] ČAPOUN, J., PAVELKA, J., RYANT, J. Elektrické regulační pohony s tyristory, SNTL 1981.
- [6] DUŠEK, F. MATLAB A SIMULINK úvod do používání, Skripta Univerzita Pardubice, 2000.
- [7] FEDÁK, V., POLIAK, F., ZBORAY, L. Elektrické pohony, ALFA, 1987.
- [8] FEILER, Z. Způsoby řízení asynchronních motorů, materiál VUT FEI Brno, <http://com.hyperlink.cz/TU/Servo/zpusoby_rizeni_asm.htm, listopad 2001>.
- [9] JAVŮREK, J. Možnosti zlepšení metody přímého řízení momentu asynchronního stroje, časopis Automatizace, č. 40 (1997), str. 789-794.
- [10] JAVŮREK, J., GERLICH, J. New Control Methods Under Development At Dept. K-314, WORKSHOP 95, Power Systems, Electrical Eng. & Power Supply, 1995, str. 553-554.
- [11] KOREIS, J. Přenosové systémy dopravních prostředků, Univerzita Pardubice, 1999.
- [12] KOVÁCS, K. P., RÁCZ, I. Transiente Vorgänge in Wechselstrommaschinen. Bd. 1., 2., Verlag der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest, 1959.
- [13] KŘIVÝ, I., KINDLER, E. Simulace a modelování, Ostravská univerzita 2001.
- [14] MAŇÁSEK, R. Řízení hydrogenerátoru frekvenčním měničem, Sborník XXI Semináře ASŘ '98, příspěvek č. 27.
- [15] MARŤÁŇ, P. Vizualizace vybraných metod strojového učení, Diplomová práce, Masarykova univerzita Brno, fakulta informatiky, 2002.
- [16] MĚŘIČKA, J., HAMATA, V., VOŽENÍLEK, P. Elektrické stroje, Skriptum ČVUT, 1994.
- [17] Neural Network Toolbox User's Guide, The MathWorks, Inc., 2002.
- [18] NOVÁK, J. Elektromechanické systémy v dopravě a ve strojírenství, Skriptum ČVUT, 2002.
- [19] NOVÁK, J. Přednášky z předmětu Řízení elektrických pohonů, doktorské studium na DFJP, letní semestr 2000.
- [20] NOVÁK, J. Současné trendy rozvoje elektrických pohonů napájených napájených z polovodičových měničů, časopis Elektro, 2001, č. 2.
- [21] NOSKIEVIČ, P.: Modelování a identifikace systémů, Montanex, 1999.
- [22] <<http://math.feld.cvut.cz/nemecek/maple/brno/brno02pris3.html>, listopad 2003>
- [23] OETTER, J. Výkonová elektronika pro elektrické pohony, ALFA, 1988.

- [24] PAVELKA, J.: ČEŘOVSKÝ, Z., JAVŮREK, J. Elektrické pohony, Skriptum ČVUT, 1996.
- [25] PETROV, G. N. Elektrické stroje 2, Academia Praha, 1982.
- [26] Power System Blockset User's Guide for Use with Simulink, The MathWorks, Inc., 2001.
- [27] SKALICKÝ, J. Moderní metody řízení asynchronních motorů, časopis Automatizace, 1997, str. 135-140.
- [28] SKALICKÝ, J. Neuronové řízení v elektrických pohonech, materiál VUT FEI Brno.
- [29] STRÁDAL, O. Simulační model pro řízení trakčního asynchronního motoru, výzkumná zpráva, Institucionální výzkum, Univerzita Pardubice, DFJP, 2002.
- [30] STRÁDAL, O. Optimalizace a řízení dynamického systému se zaměřením na principy řízení asynchronních motorů, Dizertační práce, Upa, DFJP, 2003.
- [31] STRÁDAL, O. Adaptace parametru simulačního modelu asynchronního stroje, výzkumná zpráva, Institucionální výzkum, Univerzita Pardubice, DFJP, 2003.
- [32] ŠULC, B. Teorie automatického řízení s počítačovou podporou, Skriptum ČVUT, 1999.
- [33] Tramvaje, <http://baf.cz/tramvaje/vozidla/ntcr/rt6s/charakteristika_org.html>, únor 2002.
- [34] VÁCLAVEK, P. Využití ortonormálních bází pro modelování dynamických systémů, Teze disertační práce, VUT Brno, ÚAMT, 2001.
- [35] VALOUCH, V. Aplikace algoritmů fuzzy logiky v elektrických pohonech, materiál Ústavu pro elektrotechniku AV ČR.
- [36] VALSA, J. Počítačová simulace dynamických procesů v soustavách s indukčním elektrickým strojem, Knižnice odborných a vědeckých spisů VUT v Brně, řada A, svazek 53, 1991, str.143-269.
- [37] ZEMAN, K. Dynamické vlastnosti pohonů s kmitočtově řízenými asynchronními motory, časopis Automatizace, č. 40 (1997), str. 457-464.
- [38] ZÍTEK, P., PETROVÁ, R. Matematické a simulační modely, Skriptum ČVUT, 1999.
- [39] ŽILKOVÁ, J. Identifikácia systémov pomocou neurónových sietí, Sborník příspěvků SEKEL 96, str. 55-60.

Recenzent: Doc. Ing. Stanislav Gregora, Ph.D.
Univerzita Pardubice, DFJP, Katedra elektrotechniky, elektroniky a
zabezpečovací techniky v dopravě