

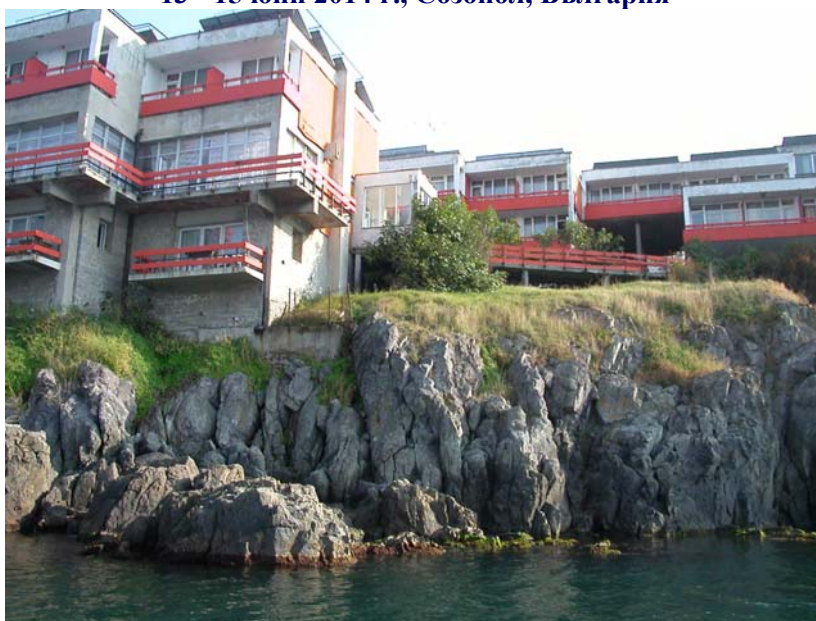


ISSN 1311-0829

ГОДИШНИК НА ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-СОФИЯ

Том 64, книга 1, 2014

МЕЖДУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЯ АВТОМАТИКА'2014, ФА
юбилей "40 ГОДИНИ ФАКУЛТЕТ АВТОМАТИКА"
13 - 15 юни 2014 г., Созопол, България



PROCEEDINGS OF TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA Volume 64, Issue 1, 2014

INTERNATIONAL CONFERENCE AUTOMATICS'2014, FA
Anniversary "40 YEARS FACULTY OF AUTOMATICS "
June 13 - 15, 2014, Sozopol, Bulgaria

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

главен редактор

проф. дтн Емил НИКОЛОВ

зам. главен редактор

проф. дтн Елена ШОЙКОВА

членове

проф. дтн Георги ПОПОВ

проф. дтн Иван КОРОБКО

проф. дфн Иван УЗУНОВ

проф. дтн Иван ЯЧЕВ

проф. дтн Кети ПЕЕВА

проф. дтн Ганчо БОЖИЛОВ

проф. д-р Бончо БОНЕВ

проф. д-р Евелина ПЕНЧЕВА

проф. д-р Иво МАЛАКОВ

проф. д-р Младен ВЕЛЕВ

проф. д-р Огнян НАКОВ

секретар-организатор

инж. Мария ДУХЛЕВА

EDITORIAL BOARD

Editor -in -Chief

Prof. D.Sc. Emil NIKOLOV

Editor -in -Vice -Chief

Prof. D.Sc. Elena SHOYKOVA

Editors

Prof. D.Sc. Georgi POPOV

Prof. D.Sc. Ivan KOROBKO

Prof. D.Sc. Ivan UZUNOV

Prof. D.Sc. Ivan YACHEV

Prof. D.Sc. Ketii PEEVA

Prof. D.Sc. Gantcho BOJILOV

Prof. Ph.D. Boncho BONEV

Prof. Ph.D. Evelina PENCHEVA

Prof. Ph.D. Ivo MALAKOV

Prof. Ph.D. Mladen VELEV

Prof. Ph.D. Ognyan NAKOV

Organizing Secretary

Eng. Maria DUHLEVA

Технически университет-София
София 1000, бул. "Кл. Охридски" 8
България <http://tu-sofia.bg>

Technical University of Sofia
Sofia, 1000, boul. Kliment Ohridski 8
Bulgaria <http://tu-sofia.bg>



© Технически Университет-София
© Technical University of Sofia
All rights reserved

ISSN 1311-0829

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ

ФАКУЛТЕТ АВТОМАТИКА

форум
„ДНИ НА НАУКАТА НА ТУ-СОФИЯ“ Созопол'2014

юбилей
“40 ГОДИНИ ФАКУЛТЕТ АВТОМАТИКА“

МЕЖДУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЯ АВТОМАТИКА'2014, ФА

Созопол 13.06. - 15.06.2014

ПРОГРАМЕН КОМИТЕТ

председател

Емил Николов (BG)

зам. председател

Тодор Йонков (BG)

членове

Петко	Петков	(BG)	Снежана	Терзиева	(BG)
Снежана	Йорданова	(BG)	Хасан	Абуайса	(FR)
Валери	Младенов	(BG)	Даниел	Жоли	(FR)
Емил	Гарипов	(BG)	Жил	Гонкалвес	(FR)
Пламен	Цветков	(BG)	Иван	Калайков	(SE)
Живко	Георгиев	(BG)	Николай	Христов	(FR)
Михо	Михов	(BG)	Алена	Козакова	(SK)
Васил	Гълъбов	(BG)	Даница	Росинова	(SK)

ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

председател

Александър Ищев

зам. председател

Станислав Енев

членове

Симона	Филипова-Петракиева
Евтим	Йончев
Цоньо	Славов
Антония	Панделова

ТЕХНИЧЕСКИ КОМИТЕТ

координатор

Станислав Енев

системен администратор

Георги Ценов

организационен секретар

Мария Духлева

TECHNICAL UNIVERSITY - SOFIA

FACULTY OF AUTOMATICS

Forum

„DAYS OF SCIENCE OF TU-SOFIA“ Sozopol'2014

Anniversary

“40 YEARS FACULTY OF AUTOMATICS“

INTERNATIONAL CONFERENCE

AUTOMATICS'2014, FA

June 13 - 15, 2014, Sozopol, Bulgaria

PROGRAM COMMITTEE

chair of PC

Emil Nikolov (BG)

vice chair of PC

Todor Ionkov (BG)

members of PC

Petko	Petkov	(BG)	Snejana	Terzieva	(BG)
Snejana	Yordanova	(BG)	Hassane	Abouaïssa	(FR)
Valeri	Mladenov	(BG)	Daniel	Jolly	(FR)
Emil	Garipov	(BG)	Gilles	Gonçalves	(FR)
Plamen	Tzvetkov	(BG)	Ivan	Kalaykov	(SE)
Jivko	Georgiev	(BG)	Nicolai	Christov	(FR)
Mikho	Mikhov	(BG)	Alena	Kozáková	(SK)
Vasil	Galabov	(BG)	Danica	Rosinová	(SK)

ORGANIZING COMMITTEE

chair of OC

Alexandar Ichtev

vice chair of OS

Stanislav Enev

members of OC

Simona	Filipova-Petrakieva
Evtim	Jonchev
Tsonio	Slavov
Antonia	Pandelova

TECHNICAL COMMITTEE

coordinator

Stanislav Enev

system administrator

Georgi Tsenov

organizing secretary

Maria Duhleva

СЪДЪРЖАНИЕ том 64, книга 1

АВТОМАТИКА

1. Иван Уливеров, Евтим Йончев, Тодор Йонков	15
<i>Управление на трифазни импулсни AC/DC преобразуватели с двустранен обмен на енергия със захранващата мрежа - част I</i>	
2. Евтим Йончев, Иван Уливеров, Тодор Йонков	25
<i>Управление на трифазни импулсни AC/DC преобразуватели с двустранен обмен на енергия със захранващата мрежа - част II</i>	
3. Марин Жилевски, Михо Михов.	33
<i>Методика за избор на подавателни задвижвания за фрезови машини</i>	
4. Васил Балавесов	43
<i>Адаптивно управление за мехатронни системи с директен синтез на управлението</i>	
5. Атанас Димитров, Владимир Заманов.	51
<i>Телеуправление на изследователски мобилен робот</i>	
6. Дочо Цанков.	61
<i>Оценка на енергийната икономичност при управление на локални конвектори</i>	
7. Тодор Йонков, Христо Стоянов	71
<i>Управление на система с превключваща структура за поддържане на надналягане в чисти помещения в системите за сградна автоматизация</i>	
8. Христо Стоянов, Теодора Петрова	77
<i>Приложение на програмируеми логически контролери за управление на оптични слънцезащитни щори в системи за сградна автоматизация</i>	
9. Георги Иванов, Иван Костов	83
<i>Изследване на MRAS схема за оценка на скоростта на асинхронен двигател, ориентирана по намагнитващия ток</i>	
10. Ганчо Божилов.	93
<i>Изследване на пусковия процес на асинхронен двигател в еднофазен режим</i>	
11. Емил Николов.	101
<i>Пространствен преход на проекцията при управление на параболични обекти с разпределени параметри</i>	
12. Василка Стоилова, Емил Николов.	111
<i>Моделиране на транспортния трафик в класа на обектите с разпределени параметри</i>	
13. Снежана Йорданова	121
<i>Електронни форми за учене и развитие на компетенции по интелигентни системи за управление</i>	
14. Снежана Йорданова, Владимир Янков.	131
<i>Размит супервайзор за нелинейна самонастройка на регулатори при работа в реално време</i>	
15. Нина Николова	141
<i>Двустепенно репетитивно управление, част I филтри</i>	

16. Нина Николова	149
<i>Двустепенно репетитивно управление, част II системи</i>	
17. Борис Киров, Васил Гълъбов	157
<i>Нискотарифен набор от оборудване за производството на микрофлуидни чипове с приложение в биоинженерните научни изследвания и изработката на биоинженерни устройства</i>	
18. Станислав Енев	163
<i>нелинейно управление на трифазни асинхронни двигатели с компенсиране на кръстосаните връзки между електромагнитния момент и роторното потокосцепление</i>	
19. Александър Ефремов.	171
<i>Оптимизация на пазарни стратегии и числена реализация на симплекс метода</i>	
20. Методи Георгиев	179
<i>Приложение на системи с размита логика при управление на балансиращи товари в енергийните системи на индустриални обекти</i>	
21. Весела Карлова-Сергиева, Соня Николова	187
<i>Методически аспекти при подготовката на материали за електронно обучение</i>	
22. Александър Маринчев, Весела Карлова-Сергиева	195
<i>Експериментално изследване на лабораторен стенд "регулиране на ниво"</i>	
23. Борислав Георгиев.	201
<i>Предизвикателства пред висшето техническо образование в контекста на развитието на образователни технологии и глобализирания пазар на компетенции</i>	
24. Десислава Стоицева-Деличева	211
<i>Метод за повишаване на енергийната ефективност при конвективно сушене чрез реализиране на точност на сушене без директно измерване на влагосъдържанието на материала</i>	
25. Александър Маринчев	219
<i>Математичен модел на затворен контур за управление, в който участва човека като функционално звено</i>	
26. Чавдар Дойчинов.	227
<i>Оптимизиран подход за обработка на информацията при управление на стандартна балансираща група</i>	
27. Николинка Христова.	235
<i>Интегриране на оперативния мениджмънт и техническата поддръжка на съоръженията в производството на пелети</i>	
28. Елица Петрова, Пламена Златева	245
<i>Анализ на динамиката на клетъчния растеж на <i>Acidithioacillus Ferrooxidans</i> при адаптация към високи концентрации на субстрат</i>	
29. Николай Гуров, Веселка Иванчева, Пламен Цветков, Георги Милушев, Георги Дюкенджиев, Христо Радев.	253
<i>Обучение по „Метрология и Измервателна Техника“ в съответствие с изискванията на бизнеса</i>	

30. Веселка Иванчева, Николай Гуров, Силвия Качулкова, Божидар Джуджев.	261
<i>Електронно обучение по дисциплината „Измерване на Неелектрични Величини“</i>	
31. Радослав Делийски	269
<i>Алгоритъм за класификация на обекти при визуален контрол и инспекция на качеството</i>	
32. Владислав Славов.	279
<i>Виртуално лабораторно упражнение за измерване на напрежение с аналогов волтметър</i>	
33. Емил Гарипов, Величка Руйкова, Тодор Пелтеков	287
<i>Обобщено предсказващо управление при различна степен на неопределеност в модела на обекта</i>	
34. Емануил Марков, Иван Евгениев.	297
<i>Симулация на енергийната консумация за целите на управление и икономия на енергия в обществена сграда</i>	
35. Александър Ишев.	303
<i>Моделно базирана диагностика на неизправности. Приложение при следяща система - част 1</i>	
36. Александър Ишев.	313
<i>Моделно базирана диагностика на неизправности. Приложение при следяща система - част 2</i>	
37. Камен Перев.	323
<i>Апроксимация с полиноми на Чебишев за редуциране на реда на модела</i>	
38. Йордан Кралев, Филип Филипов, Красимира Филипова.	333
<i>Аритметично устройство за числа с плаваща запетая за FPGA прибори</i>	
39. Цоньо Славов, Йордан Кралев, Петко Петков.	343
<i>Идентификация на двуколесен робот като обект с неопределеност</i>	
40. Цоньо Славов, Теофана Пулева	353
<i>Хардуерна симулация на система за адаптивно управление с програмирано усилване на скоростта на хидроагрегат</i>	
41. Теофана Пулева, Георги Ружеков	363
<i>Компенсация на смущения при управление на активната мощност в енергийна система с ограничена мощност</i>	
42. Андрей Йончев.	373
<i>Моделно прогнозиращо управление на вятърно енергийна система</i>	
43. Андрей Йончев.	383
<i>Проектиране на робастно и управляващо устройство за модел на система хидрогенератор</i>	
44. Аспарух Марковски	393
<i>Робастно управление на лабораторен модел - сервосистема</i>	
45. Емануил Марков.	399
<i>Подход на програмната генерация при създаване на полу-натурни симулатори</i>	

46. Здравко Каракехайов.	407
<i>ZETA алгебра: оптимизиране на вградените компютри за работа в реално време и ниска консумация</i>	
47. Веселин Георгиев.	415
<i>Относно един подход за повишаване на надеждността на софтуера за системи за управление</i>	
48. Галина Чернева	425
<i>Оптимизация на формата на сигнала за отстраняване на преходния процес при предаването му</i>	
49. Атанас Атанасов, Ваня Кузманова.	433
<i>Ролята на инженеринга на потребителските изискванията за създаването на успешен софтуерен продукт</i>	
50. Стоян Кирилов, Георги Ценов, Валери Младенов.	443
<i>Синтез и анализ на мемристорен честотен умножител</i>	
51. Анна Апостолова-Йорданова, Снежана Терзиева	451
<i>Проблеми и задачи на прехода от средната към висшата техническа образователна степен (въз основа на опита при обучението по “Електротехника“ на ученици в ТУ-ЕС към ТУ и студенти във ФЕТТ на ТУ)</i>	
52. Симона Петракиева	459
<i>Приложение на дистанционната форма на обучение в курсовете по “Теоретична Електротехника” при анализа на линейни електрически вериги</i>	
53. Атанас Червенков, Тодорка Червенкова, Ивелина Христова	467
<i>Изследване на капацитивното влияние на въздушна линия за високо напрежение върху електротехническите съоръжения</i>	
54. Георги Ценов	477
<i>Обучение в работната среда на Matlab с модулен графичен потребителски интерфейс</i>	
55. Радослава Авджиева	483
<i>Детектор на лъжата с използване на ЕЕГ сигнали от човешкия мозък и класификация с невронни мрежи</i>	

CONTENTS volume 64, Issue 1

AUTOMATICS

1. Ivan Uliverov, Evtim Yonchev, Todor Ionkov.	15
<i>Three Phase Impulse AC/DC Converters with Bilateral Energy Exchange with Power Mains Control - part 1</i>	
2. Evtim Yonchev, Ivan Uliverov, Todor Ionkov.	25
<i>Phase Impulse AC/DC Converters with Bilateral Energy Exchange with Power Mains Control - part 2</i>	
3. Marin Zhilevski, Mikho Mikhov	33
<i>Methodology for Selection of Feed Drives for Milling Machines</i>	
4. Vassil Balavessov	43
<i>Adaptive Control for Mechatronic Systems with Direct Control Synthesis</i>	
5. Atanas Dimitrov, Vladimir Zamanov	51
<i>Teleoperation of a Mobile Robot for Exploration</i>	
6. Docho Tsankov	61
<i>Evaluation Energy Saving in the Management of Local Convertors</i>	
7. Todor Ionkov, Hristo Stoyanov.	71
<i>Overpressure Control in Clean Room with Switching Structure to Overpressure Control in Clean Rooms into Building Management System</i>	
8. Hristo Stoyanov, Teodora Petrova	77
<i>Implementation of Programmable Logical Controller for Management of Optical Sunblinds into Building Management System</i>	
9. Georgi Ivanov, Ivan Kostov	83
<i>Study of Sensorless Speed Estimation Scheme of Induction Motor, Based on MRAS Model and Oriented by Mutual Current</i>	
10. Gantcho Bojilov.	93
<i>Study of the Starting Process of the Induction Motor in Single Phase Regime</i>	
11. Emil Nikolov.	101
<i>Spatial Transition of the Projection in Control of Parabolic PDEs Plants with Distributed Parameters</i>	
12. Vassilka Stoilova, Emil Nikolov.	111
<i>Modeling of the Transport Traffic in the Class Distributed Parameters Plant</i>	
13. Snejana Yordanova	121
<i>Electronic Forms for Learning and Development of Competencies on Intelligent Control Systems</i>	
14. Snejana Yordanova, Vladimir Yankov.	131
<i>Fuzzy Supervisor for Nonlinear Self-Tuning of Controllers in Real Time Operation</i>	
15. Nina Nikolova.	141
<i>Dual-Stage Repetitive Control, part I Filters</i>	
16. Nina Nikolova.	149
<i>Dual-Stage Repetitive Control, part II Systems</i>	

17. Boris Kirov, Vassil Galabov	157
<i>A Low-Cost Equipment Setup for the Fabrication of Microfluidics Chips Applied in Bioengineering Research and Devices Building</i>	
18. Stanislav Enev.	163
<i>Discrete-Time Nonlinear Control of Three-Phase Induction Motors with Torque and Rotor Flux Decoupling</i>	
19. Alexander Efremov.	171
<i>Marketing Strategy Optimization and a Numerical Realization of the Simplex Method</i>	
20. Metody Georgiev	179
<i>Fuzzy Logic Application for Ballancing Load Control in Industrial Energy Systems</i>	
21. Vessela Karlova, Sonia Nikolova.	187
<i>Methodological Aspects in the Preparation of e-Learning Forms</i>	
22. Aleksandar Marinchev, Vessela Karlova-Sergieva.	195
<i>Experimental Study of Laboratory Bench "Level Control"</i>	
23. Borislav Georgiev.	201
<i>Challenges in Front of Technical Higher Education in the Context of the Educational Technologies Development and Globalized Competence Markets</i>	
24. Desislava Stoitseva-Delicheva	211
<i>Method for Improved Energy Efficiency in Convective Dryer through Precision in Drying without Direct Measurement of Material's Moisture Content</i>	
25. Aleksandar Marinchev	219
<i>Mathematical Model of Closed Loop Control System in which Human Participate as Functional Unit</i>	
26. Chavdar Doychinov	227
<i>An Optimized Management Approach for Processing Information in a Standard Balancing Group</i>	
27. Nikolinka Christova	235
<i>Integrating the Operation Management and Equipment Maintenance of Pellet Manufacturing</i>	
28. Elitsa Petrova, Plamena Zlateva	245
<i>Analysis on the Cell Growth Dynamics of Acidithioacillus Ferrooxidans at Adaptation to High Substrate Concentrations</i>	
29. Nikolay Gourov, Veselka Ivancheva, Plamen Tzvetkov, Georgi Milushev, Georgi Dukendjiev, Hristo Radev.	253
<i>Education on Metrology and Measurement Technique in Accordance with the Requirements of the Industry</i>	
30. Veselka Ivancheva, Nikolay Gourov, Silviya Kachulkova, Bozhidar Dzhudzhev	261
<i>E-Learning on "Measurement of Nonelectrical Quantities"</i>	
31. Radoslav Deliyski.	269
<i>Algorithm for Object Classification in Visual Quality Control and Inspection</i>	
32. Vladislav Slavov.	279
<i>Virtual Laboratory Exercise for Voltage Measurement with Analogue Voltmeter</i>	

33. Emil Garipov, Velichka Ruykova, Todor Peltekov	287
<i>Generalized Predictive Control for Different Plant Models Uncertainty</i>	
34. Emanuil Markov, Ivan Evg. Ivanov	297
<i>Simulation of Energy Consumption for Prediction of Efficient Energy Control in a Business Building</i>	
35. Alexandar Ichtev	303
<i>Model Based Fault Diagnosis. Application with Servo System - part I</i>	
36. Alexandar Ichtev	313
<i>Model Based Fault Diagnosis. Application with Servo System - part II</i>	
37. Kamen Perev	323
<i>Chebyshev Polynomial Approximation for Model Order Reduction</i>	
38. Jordan Kravlev, Filip F. Filipov, Krasimira Filipova.	333
<i>Floating-Point Operations for FPGA</i>	
39. Tsonyo Slavov, Jordan Kravlev, Petko Petkov	343
<i>Identification of Two Wheeled Robot</i>	
40. Tsonyo Slavov, Teofana Puleva	353
<i>Hardware in the Loop Simulation of System for Gain Scheduling Control of Hydro-turbine Speed</i>	
41. Teofana Puleva, Georgi Ruzhekov	363
<i>Disturbance Rejection in Active Power Control in Power Limited Energy System</i>	
42. Andrey Yonchev.	373
<i>Model Predictive Control of Wind Energy System</i>	
43. Andrey Yonchev.	383
<i>Robust μ Controller Design of a Hydro Generator System Model</i>	
44. Asparuh Markovski	393
<i>Robust Control of Laboratory Stand - Servo System</i>	
45. Emanuil Markov.	399
<i>Program Generation Approach for Creation of Semiautomatic Simulators</i>	
46. Zdravko Karakehayov.	407
<i>ZETA Algebra: Where Embedded Computing Real-Time and Low-Power Meet</i>	
47. Vesselin Evgueniev Gueorguiev.	415
<i>An Approach for Increasing Dependability and Security of Computer Control Systems Software</i>	
48. Galina Cherneva.	425
<i>Optimization of Signal Form for Elimination of the Transition Process by the Transmission</i>	
49. Atanas Atanasov, Vanya Kuzmanova	433
<i>The Role of Requirements Engineering for Development of Successful Software</i>	
50. Stoyan Kirilov, Georgi Tsenov, Valeri Mladenov	443
<i>Synthesis and Analysis of a Memristor Frequency Multiplier</i>	
51. Anna Apostolova-Iordanova, Snezhana Terzieva.	451
<i>Some Problems of the Transition from Secondary to Higher Technical Education (Based on the Experience in Teaching "Electrical Engineering" to Students at the TS"ES" Associated with Sofia TU in and Students at the FETT of the TU)</i>	

52. Simona Petrakieva	459
<i>E-Learning in Theoretical Electrical Engineering Courses for Linear Electrical Circuits Analysis</i>	
53. Atanas Chervenkov, Todorka Chervenкова, Ivelina Hristova.	467
<i>Investigation of the Capacitive Influence of High-Voltage Overhead Lines on the Electrical Equipments</i>	
54. Georgi Tsenov	477
<i>Teaching Courses in Matlab with Modular Graphical User Interface</i>	
55. Radoslava Avdzhieva.	483
<i>Lie Detector with Usage of EEG Signals from the Human Brain and Classification with Neural Networks</i>	

ИЗСЛЕДВАНЕ НА MRAS СХЕМА ЗА ОЦЕНКА НА СКОРОСТТА НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ, ОРИЕНТИРАНА ПО НАМАГНИТВАЩИЯ ТОК

Георги Иванов, Иван Костов

Резюме: Адаптивните системи с еталонен модел (MRAS) са най-широко използваните в схемите за безсензорно управление. В работата се сравняват разработен модел на MRAS схема за оценка на скоростта, ориентирана по намагнитващия ток и две класически MRAS схеми с модели на роторния пълен магнитен поток и на реактивната мощност. Разработеният модел е верифициран в симулационната среда Simulink на MATLAB®. Направени са изводи по отношение на точността в режим слеждане и компенсация на смущения, а също и в областта на ниските скорости.

Ключови думи: Безсензорно управление, векторно управление, асинхронен двигател, адаптивни системи, MRAS, магнитен поток, реактивна мощност, намагнитващ ток.

STUDY OF SENSORLESS SPEED ESTIMATION SCHEME OF INDUCTION MOTOR, BASED ON MRAS MODEL AND ORIENTED BY MUTUAL CURRENT

Georgi Ivanov, Ivan Kostov

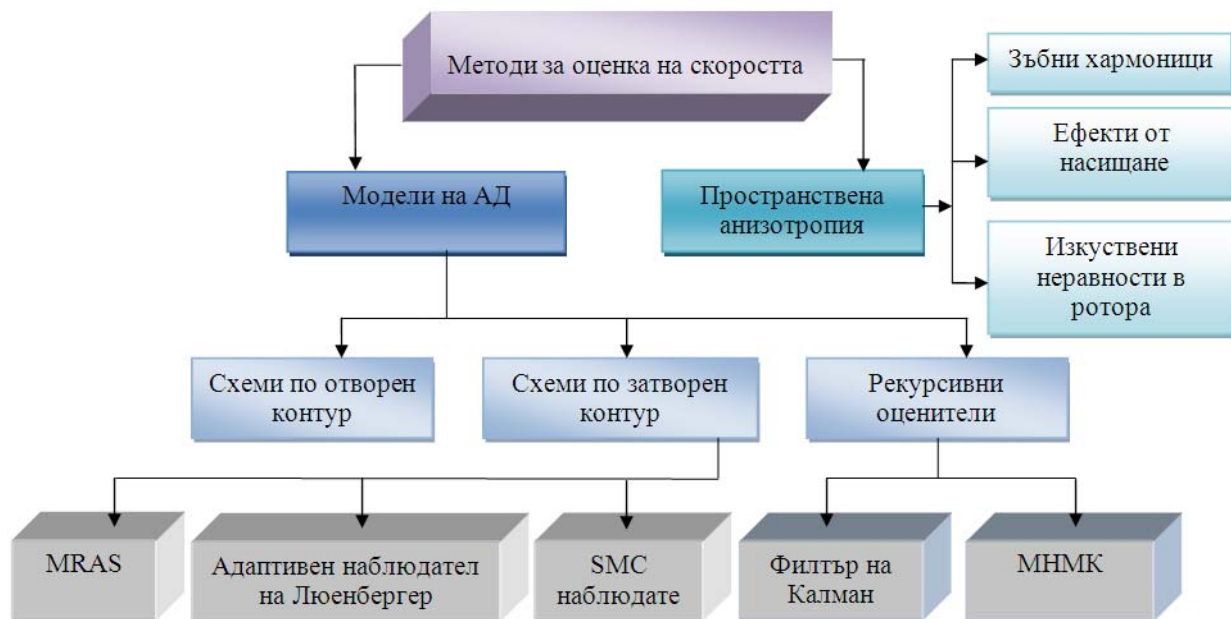
Abstract: The Model Reference Adaptive System (MRAS) is probably the most widely applied speed sensorless drive. This paper compares induction motor speed estimation model using mutual current based MRAS schema and two conventional MRAS schemes, oriented by rotor flux and reactive power models. The developed model was tested in simulation environment Simulink of MATLAB®. Conclusions are made regarding the accuracy in tracking mode and compensation of disturbances and also during operation of electric power in low speed region.

Keywords: Sensorless control, vector control, induction motor, adaptive systems, MRAS, rotor flux, reactive power, mutual current.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Използването на датчици на скорост позволява изграждането на висококачествено и сравнително просто управление на АД. Това обаче усложнява конструкцията и намалява надеждността на задвижването. В тази връзка през последните две десетилетия се обръща особено внимание на разработката на алгоритми за

векторно управление с използване на данни от сигнали за захранващото напрежение и ток или само за тока. Задачата за безсензорното векторно управление е доста по-сложна, в сравнение със случая, в който се използва сензор за скорост. Най-общо тези схеми се реализират по отворен или затворен контур. Сравнително прост метод за изчисление на ъгловата скорост по отворен контур на база е.д.н. на двигателя е предложен в [1]. Тези алгоритми се характеризират с малка точност и затова са разработени по-точни, но и доста по-сложни методи. При тях проблемът се решава с помощта на различни типове наблюдатели. В [2] се използват наблюдатели от типа Sliding mode control (SMC). В [3] се представя наблюдател на потокосцеплението на статора, с помощта на който се изчислява скоростта на ротора. Широко разпространение за оценка на потока и скоростта на ротора са получили системите от типа MRAS [4], където се използват две векторни уравнения на потока на ротора, едното от които се явява базово, а второто настройваем модел. По същество към MRAS системите спадат и адаптивните наблюдатели на поток и скорост [5], където базовия модел се явява самия АД, а в ролята на настройваеми модели се явяват наблюдателите на тока на статора и потокосцеплението на ротора. В доклада [5] за адаптация се използва грешката между два едновременно настройващи се модела. Добри резултати се получават с помощта на разширения филтър на Калман [11], но това е свързано със сравнително сложни изчисления. Всички изчислителни методики са чувствителни на параметрични промени в АД. В това отношение буди интерес и метода за определяне на скоростта по пулсациите на статорния ток [11], но той за съжаление си има своите недостатъци. Правят се опити за изграждане на системи за управление на АД без датчик на скорост с помощта на невронни мрежи [6]. За осигуряване стабилната работа на системите за управление на АД и анализ на работоспособността, разпространение е получил регресионния рекурентен метод на най-малките квадрати [7], които позволяват оценка на параметрите на АД в реално време. Освен това в [7] е представен алгоритъм, който в допълнение на идентификацията на параметрите на АД, позволява и изчисление на ъгловата скорост на ротора, използвайки само датчик на тока и напрежението. Това отваря пътя за получаване на високоточни адаптивни системи за управление на АД с помощта на лесно достъпните променливи напрежение и ток. Дотук разгледаните методи са базирани на изчислителни модели на АД, получени на база описанието на обобщената двуфазна машина. Съществуват и друга група т.нар. „физически” методи, основани на пространствената анизотропия на АД, опиращи се на ефекти като явнополюсност, насищане и зъбни хармоници [8]. Обобщение на постигнатото в областта на безсензорното управление се явяват работите на P. Vas и J. Holtz [9,10]. В настоящата работа се синтезира и анализира работата на адаптивна схема от тип MRAS, ориентирана по намагнитващия ток на двигателя. За целта се реализира симулационен модел на Matlab/Simulink®, а работата на изчислителния алгоритъм се верифицира в условията на променлив товар и нестационарност на параметрите, също така в областта на ниските скорости и грешка в датчиците на ток и напрежение. Графична илюстрация под формата на диаграма за разгледаните алгоритми е представена на фиг.1:



Фиг.1. Направления в моделирането на алгоритми за оценка на скоростта.

2. МОДЕЛ НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ

Представеното математично описание на асинхронния двигател е изведено чрез апарата на обобщената електрическа машина в неподвижна координатна система и на база общоприетите допускания:

$$\begin{cases}
 u_{s\alpha} = R_s i_{s\alpha} + \frac{d\Psi_{s\alpha}}{dt}; \\
 u_{s\beta} = R_s i_{s\beta} + \frac{d\Psi_{s\beta}}{dt}; \\
 0 = R_r i_{r\alpha} + \frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} + \omega_{el} \Psi_{r\beta}; \\
 0 = R_r i_{r\beta} + \frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} - \omega_{el} \Psi_{r\alpha}; \\
 T_e = Z_p L_m (i_{s\beta} i_{r\alpha} - i_{s\alpha} i_{r\beta})
 \end{cases} \quad (1)$$

Уравнението на движение се представя в частния случай на едномасова механична система без да се отчита триенето:

$$T_e - T_l = J \frac{d\omega}{dt} \quad (2)$$

Компонентите на потокосцепления по съответните оси се представят посредством изразите:

$$\begin{cases}
 \Psi_{s\alpha} = L_s i_{s\alpha} + L_m i_{r\alpha} \\
 \Psi_{r\alpha} = L_m i_{s\alpha} + L_r i_{r\alpha}
 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \Psi_{s\beta} = L_s i_{s\beta} + L_m i_{r\beta} \\ \Psi_{r\beta} = L_m i_{s\beta} + L_r i_{r\beta} \end{cases} \quad (4)$$

Потокосцепления на статора и ротора могат да се представят като сума от това на въздушната междина и съответните на разсейване:

$$\begin{cases} \Psi_{s\alpha} = \Psi_{m\alpha} + L_{sl} i_{s\alpha} \\ \Psi_{r\alpha} = \Psi_{m\alpha} + L_{sl} i_{r\alpha} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \Psi_{s\beta} = \Psi_{m\beta} + L_{sl} i_{s\beta} \\ \Psi_{r\beta} = \Psi_{m\beta} + L_{sl} i_{r\beta} \end{cases} \quad (6)$$

Намагнитващият ток се представя като сума от токовете на статора и ротора:

$$\begin{cases} i_{m\alpha} = i_{s\alpha} + i_{r\alpha} \\ i_{m\beta} = i_{s\beta} + i_{r\beta} \end{cases} \quad (7)$$

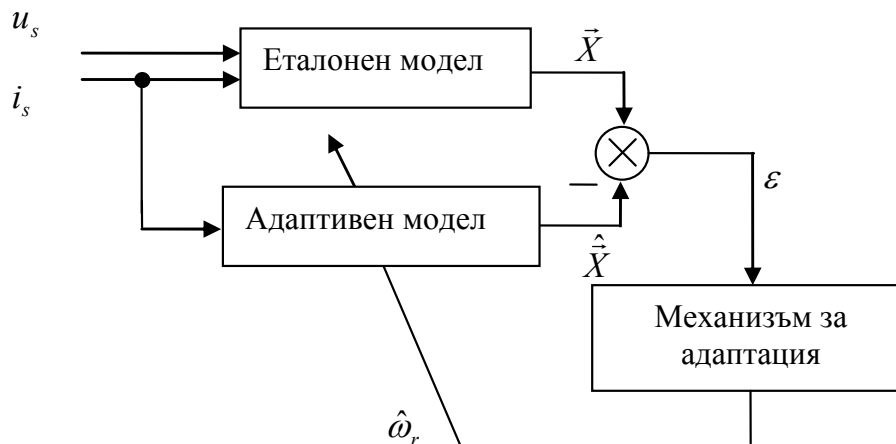
Потокосцеплението на въздушната междина се изразява чрез:

$$\begin{cases} \Psi_{m\alpha} = L_m (i_{s\alpha} + i_{r\alpha}) \\ \Psi_{m\beta} = L_m (i_{s\beta} + i_{r\beta}) \end{cases} \quad (8)$$

Това описание е основа за разсъжденията и аналитичните извеждания в настоящата работа.

3. ИЗВЕЖДАНЕ НА МОДЕЛ НА НАМАГНИТВАЩИЯ ТОК

При адаптивните системи с еталонен модел, използвани за оценка на параметри се използват т.нар. еталонен и настройваем модели, като неизвестния параметър се явява настройващ се и съответно вход за втория модел. Наблюдателят се реализира съгласно схемата представена на фиг.2. При извеждането на еталонния модел се използват уравненията на електрическо равновесие в намотките на статора (1) като в първите две уравнения се заместват последователно изразите за статорния пълен магнитен поток от (3) и (4) и изразят съответно компонентите на роторния ток от (7).



Фиг.2. Адаптивна система с еталонен модел.

Така се получава системата (9) като функция на статорен и намагнитващ ток:

$$\begin{cases} u_{s\alpha} = R_s i_{s\alpha} + L_s \frac{di_{s\alpha}}{dt} + L_m \frac{di_{m\alpha}}{dt} - L_m \frac{di_{s\alpha}}{dt} \\ u_{s\beta} = R_s i_{s\beta} + L_s \frac{di_{s\beta}}{dt} + L_m \frac{di_{m\beta}}{dt} - L_m \frac{di_{s\beta}}{dt} \end{cases} \quad (9)$$

От (9) се изразява $\frac{d\vec{i}_m}{dt}$ и след интегриране се получава:

$$\begin{cases} i_{m\alpha} = \frac{1}{L_m} \psi_{s\alpha} - \frac{(L_s - L_m)}{L_m} i_{s\alpha} \\ i_{m\beta} = \frac{1}{L_m} \psi_{s\beta} - \frac{(L_s - L_m)}{L_m} i_{s\beta} \end{cases} \quad (10)$$

където проекциите на магнитния поток на статора се изразяват посредством:

$$\begin{cases} \psi_{s\alpha} = \int (u_{s\alpha} - R_s i_{s\alpha}) dt \\ \psi_{s\beta} = \int (u_{s\beta} - R_s i_{s\beta}) dt \end{cases} \quad (11)$$

като се отчете, че $L_s \rightarrow L_m$ [4], то членовете, съдържащи компонентите на статорния ток могат да бъдат пренебрегнати и окончателно се получава:

$$\begin{cases} i_{m\alpha} = \frac{1}{L_m} \psi_{s\alpha} \\ i_{m\beta} = \frac{1}{L_m} \psi_{s\beta} \end{cases} \quad (12)$$

Изразите за проекциите на намагнитващия ток за настройваемия модел се представят спрямо $d\vec{I}_m / dt$ и се получават като от роторните уравнения на модела на двигателя (1) се заместят изразите за роторните потокосцепления от системи (3) и (4) и се представи роторния ток на база (7). Съгласно приетото допускане $L_s \rightarrow L_m$, за тока на намагнитващия контур може да се запише:

$$\begin{cases} \frac{d\hat{i}_{m\alpha}}{dt} = \frac{1}{T_r} (i_{s\alpha} - i_{m\alpha}) - \omega_r i_{m\beta} \\ \frac{d\hat{i}_{m\beta}}{dt} = \frac{1}{T_r} (i_{s\beta} - i_{m\beta}) + \omega_r i_{m\alpha} \end{cases} \quad (13)$$

Механизмът за адаптация е изведен съгласно *Критерия за Абсолютна Устойчивост на Попов (Popov's Hyperstability Theory)* и се представя като пропорционално-интегрален закон:

$$\hat{\omega}_r = K_p \varepsilon + K_i \int \varepsilon dt \quad (14)$$

където с ε , K_p и K_i се бележат съответно разликата между еталонния и настройвания модел, пропорционалната и интегралната константи на ПИ регулатора. Грешката се формира на база векторното произведение:

$$\varepsilon = \vec{I}_m \times \hat{\vec{I}}_m \quad (15)$$

Приема се, че оценката на скоростта клони към действителната ако се удовлетворява условието:

$$\varepsilon \rightarrow 0 \text{ ако } \hat{\omega}_r \rightarrow \omega_r \quad (16)$$

Табл.1

	роторен поток (Ψ_r)	реактивна мощност (Q)
еталонен модел	$\begin{cases} \psi_{r\alpha} = \frac{L_r}{L_m}(\psi_{s\alpha} - L_s \sigma i_{s\alpha}) \\ \psi_{r\beta} = \frac{L_r}{L_m}(\psi_{s\beta} - L_s \sigma i_{s\beta}) \end{cases}$	$\begin{aligned} q &= i_{s\alpha} u_{s\beta} - i_{s\beta} u_{s\alpha} - \\ &- L_s \sigma \left(i_{s\alpha} \frac{di_{s\beta}}{dt} - i_{s\beta} \frac{di_{s\alpha}}{dt} \right) \end{aligned}$
настройваем модел	$\begin{cases} \frac{d\hat{\psi}_{r\alpha}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{s\alpha} - \omega_r \psi_{r\beta} - \frac{1}{T_r} \psi_{r\alpha} \\ \frac{d\hat{\psi}_{r\beta}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{s\beta} + \omega_r \psi_{r\alpha} - \frac{1}{T_r} \psi_{r\beta} \end{cases}$	$\begin{aligned} e_{r\alpha} &= \frac{L_m^2}{L_r T_r} (-\omega_r T_r i_{m\beta} - i_{m\alpha} + i_{s\alpha}) \\ e_{r\beta} &= \frac{L_m^2}{L_r T_r} (\omega_r T_r i_{m\alpha} - i_{m\beta} + i_{s\beta}) \\ \hat{q} &= i_{s\alpha} e_{r\beta} - i_{s\beta} e_{r\alpha} \end{aligned}$
формиране на грешката	$\varepsilon = (\hat{\psi}_{r\alpha} \psi_{r\beta} - \psi_{r\alpha} \hat{\psi}_{r\beta})$	$\varepsilon = q - \hat{q}$

Работата на изведения наблюдател се сравнява с популярните MRAS модели, ориентирани по пълния магнитен поток на ротора и реактивна мощност, подробно разгледани в [4]. В табл.1 са представени уравненията за еталонния и настройваем модели, а също така и начина, по който се формира грешката.

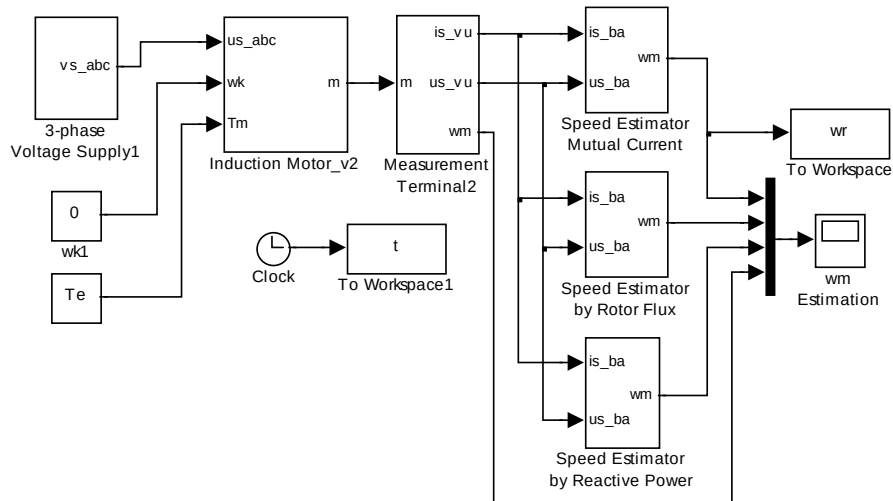
4. ИЗЧИСЛИТЕЛЕН ЕКСПЕРИМЕНТ

За верификация на представените модели се реализират изчислителни структури в програмната среда на MATLAB/Simulink® (фиг.3). За целта е синтезиран модел на асинхронен двигател на база математическото описание на обобщената електрическа машина, представен във форма на Коши и ориентиран по статорния и роторен пълни магнитни потоци - $[\Psi_s, \Psi_r]$, представен в [Ключев].

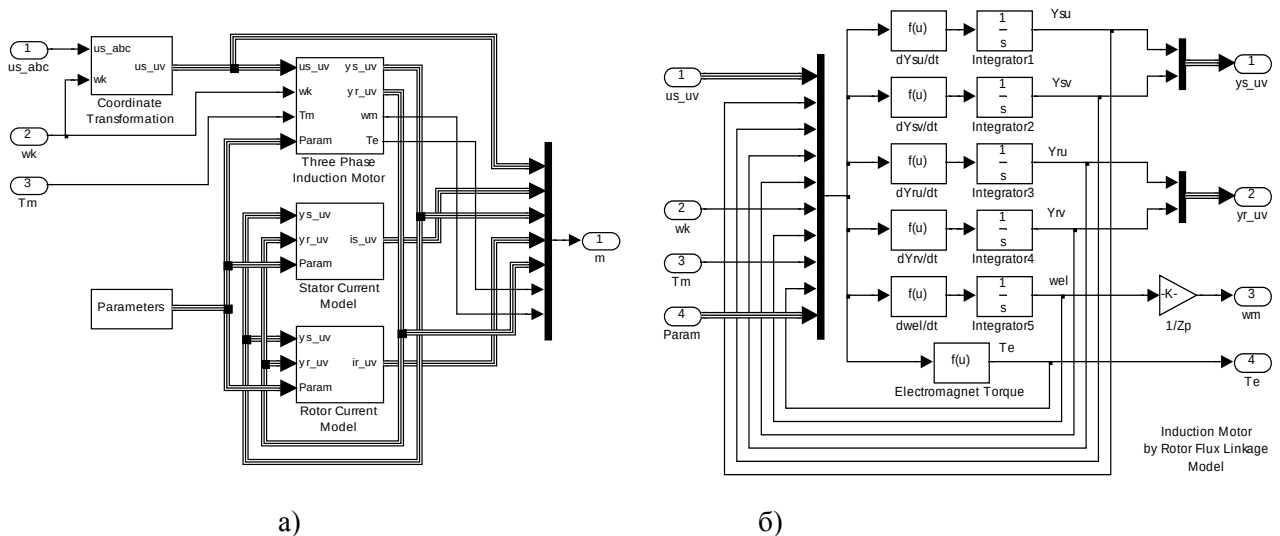
На фиг.4 е представена изчислителна структура, представяща уравненията на електрическо равновесие в намотките на статора и ротора, електромагнитния момент и уравнение на движение за АД.

Моделът на оценителя, ориентиран по I_m е представен на фиг.4. Първият експеримент е свързан с проверка на работа му при номинално захранване и честота и промяна на натоварването - $(0; T_e; T_e/2)$.

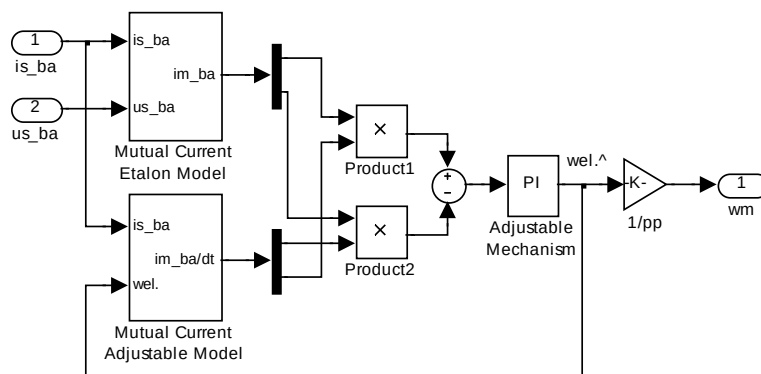
За верификация на работата на MRAS схемите за оценка на скоростта се реализират различни изследвания, свързани с пусковите режими и при промяна на заданието (фиг.6). Изследват се също така работата на оценителите при промяна на T_L и в областта на ниските скорости - около 1 Hz (фиг.7), промяна на активните съпротивления на статора и ротора (фиг.8), индуктивността на намагнитващия контур и комбинираното влияние от промяната на тези три параметъра (фиг.9).



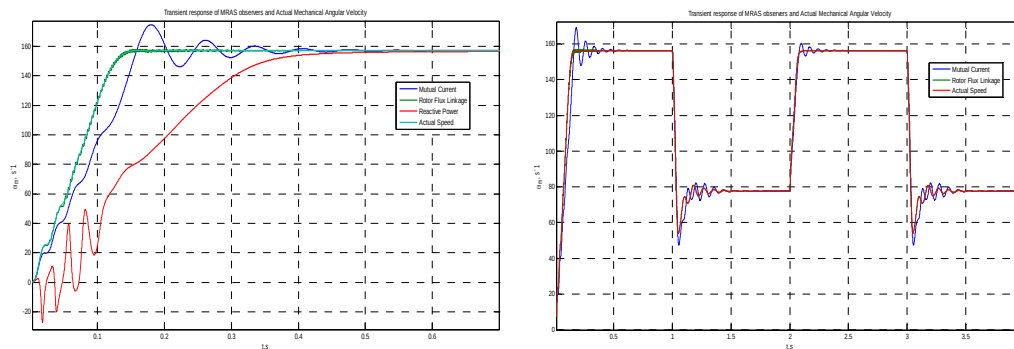
Фиг.3. Верификационен модел за оценка на алгоритмите за безсензорно определяне на скоростта.



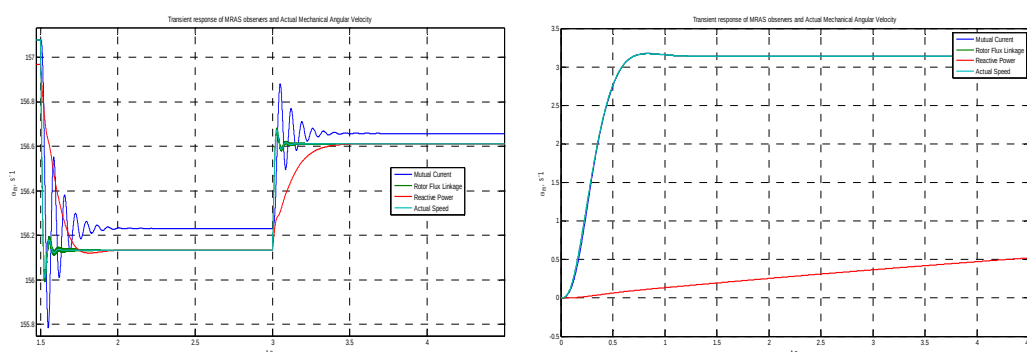
Фиг.4. Модел на използвания двигател – обща структура (а) и изчислител на пълния магнитен поток на статора и ротора, момента и скоростта (б).



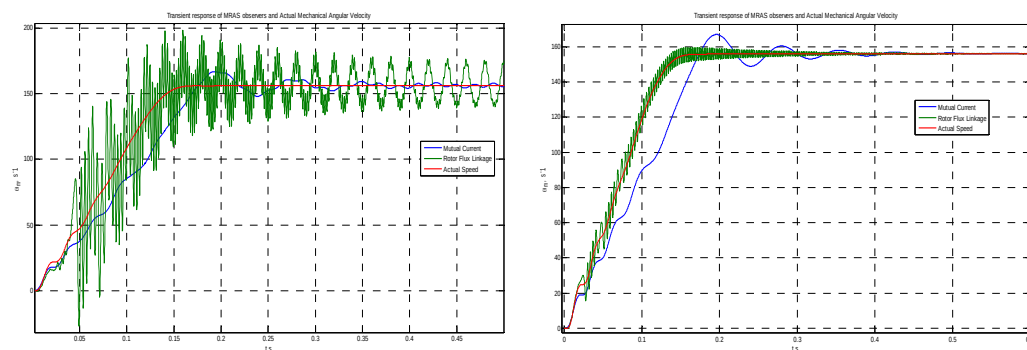
Фиг.5. Схема за реализация на адаптивна система с еталонен модел за оценка на скоростта, ориентирана по намагнитващ ток



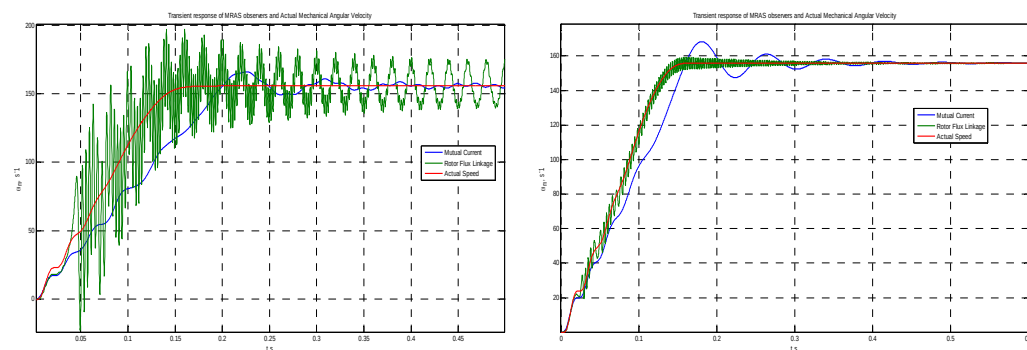
Фиг.6. Пускови и при промяна на заданието – $[U_N, f_N; U_N/2, f_N/2]$ преходни процеси за разглежданите MRAS наблюдатели и действителната механична ъглова скорост (номинално захранване и честота).



Фиг.7. Преходни процеси при промяна на натоварването - $T_L = [0; T_{LN}; T_{LN}/2]$ и ниски скорости (честота 1Hz) и $T_L = T_{LN}$.



Фиг.8. Преходни процеси при промяна на R_s с 10% и R_r с 10%.



Фиг.9. Преходни процеси при промяна на L_m с 10% и промяна на R_s, R_r, L_m с 10%.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При сравнение на схемите за оценка на скоростта, реализирани на основа MRAS и ориентирани по I_m , Ψ_r и Q може да се отбележи, че най-добра динамика притежава вторият наблюдател.,,

При пускане се наблюдава значително колебание в оценката на първия наблюдател, но той притежава по-добра динамика от този, ориентиран по реактивна мощност.

Освен това той се влияе по-слабо от промяната на параметрите на двигателя. В областта на ниските скорости, разглежданият наблюдател запазва работоспособността си и се приближава до динамиката на MRAS по роторен магнитен поток Ψ_r .

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Seung Ki Sul and Min ho Park. *A Novel Technique for Optimal Efficiency Control of a Current-Source Inverter-Fed Induction Motor* // IEEE Trans. on Power Electronics. - 1988. - V.3, '2. - P.192-198
- [2]. Know C., S. Hui, S. Sudhoff, S. Zak, *Rotor Flux and Speed Observers for Induction Motors*, International Conference on Power Electronics And Intelligent Control for Energy Conservation, Warsaw, 2005
- [3]. M. Marchesoni, P. Segarich, E. Soressi. *A Simple Approach to Flux and Speed Observation in Induction Motor Drives* // In Proc. IECON '94. - 1994. - V.1. - P.305-310
- [4]. Иванов Г., И. Костов, Й. Пищийски. *Сравнителен анализ на MRAS структури за оценка на скоростта в асинхронни електрозадвижвания*, Journal of the Technical University – Sofia Plovdiv branch, Bulgaria, “Fundamental Sciences and Applications” Vol. 18, 2012, ISSN 1310 – 827, стр.33-42.
- [5]. Young Ahn Kwon and Dae Won Jin. *A Novel MRAS Based Speed Sensorless Control of Induction Motor*// In Proc.IECON '99.-1999.-PE - 15
- [6]. Bose B., *Neural Network Applications in Power Electronics and Motor Drives – An Introduction and Perspective*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 54, No.1, pp.14-33, 2007
- [7]. Потапенко Е. Е., Потапенко Е.М. *К вопросу идентификации параметров и восстановления вектора состояния асинхронного двигателя* , Вісник ХДПУ. Збірка науков праць. Тематичний випуск 61. – Харків, ХДПУ. С-82-84
- [8]. Degner, M.W., Lorenz, R.D., *Using multiple saliencies for the estimation of flux, position and velocity in AC machines*, IEEE Trans. IA, 34-5, Sept/Oct 1998, pp. 1097-1104
- [9]. Vas, P. *Sensorless Vector and Direct Torque Control*. Oxford University Press, 1998

- [10]. Holtz, J., *Sensorless Control of Induction Motor Drives*. Proceedings of IEEE, Vol. 90, № 8, pp. 1359-1394, August 2002
- [11]. C. Ilas, A. Bettini, L. Ferraris, G. Griva, F. Profumo. *Comparison of Different Schemes without Shaft Sensors for Field Oriented Control Drives* // In Proc. IECON '94. - 1994. - V.3. -P.1579-1588.

Автори: Иван Костов, доц. д-р, катедра „Системи за управление”, Технически Университет - София, Филиал Пловдив, E-mail address: ijk@tu-plovdiv.bg, Георги Иванов, маг. инж. докторант, катедра „Системи за управление”, Технически Университет - София, Филиал Пловдив, E-mail address: georgi.iwanow@gmail.com

Постъпила на 11.04.2014

Рецензент доц. д-р Евтим Йончев