

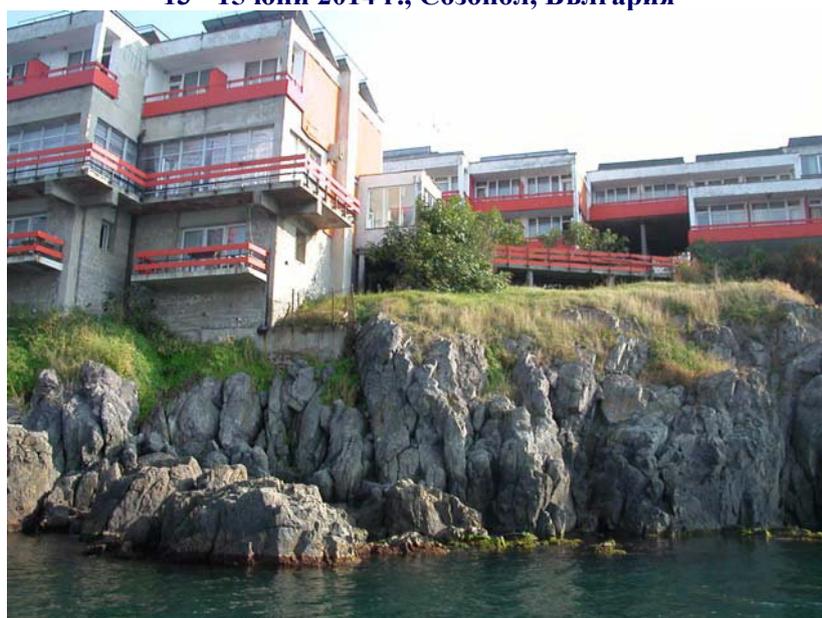


ISSN 1311-0829

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. Keti 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 модул за 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 Ferooxidans 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 Deliyiski | 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 Kralev, Filip F. Filipov, Krasimira Filipova. | 333 |
| <i>Floating-Point Operations for FPGA</i> | |
| 39. Tsonyo Slavov, Jordan Kralev, 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 Seminaure 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 Eliminationthe 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-lordanova, Snejana 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 Chervenkova, 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 КАПАЦИТИВНОТО ВЛИЯНИЕ НА ВЪЗДУШНА ЛИНИЯ ЗА ВИСОКО НАПРЕЖЕНИЕ ВЪРХУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИТЕ СЪОРЪЖЕНИЯ

Атанас Червенков, Тодорка Червенкова, Ивелина Христова

Резюме: Разглеждат се електромагнитните смущения създавани от въздушните електропроводи за високо и свръхвисоко напрежение. Анализира се капацитивното проникване на електромагнитните смущения в линиите за средно и ниско напрежение и линиите за пренос на данни, разположени в близост до въздушните електропроводи за високо напрежение. Определят се взаимните капацитети и електрическото поле в близост до въздушния електропровод, създадено от проводниците на линия за високо напрежение. Изчислява се напрежението на линия за ниско напрежение, възникнало от смущението посредством капацитивната връзка. Получено е разпределението на това напрежение в околността на електропровода за високо напрежение.

Ключови думи: електромагнитна съвместимост, електромагнитните смущения, капацитивно проникване, въздушни електропроводи, високо напрежение.

INVESTIGATION OF THE CAPACITIVE INFLUENCE OF HIGH-VOLTAGE OVERHEAD LINES ON THE ELECTRICAL EQUIPMENTS

Atanas Chervenkov, Todorka Chervenkova Ivelina Hristova

Abstract: The electromagnetic disturbances generated by overhead power lines for high and ultra high voltage is considered. Capacitive penetration of electromagnetic disturbance in the lines for medium and low voltage, and lines for data, located near overhead high-voltage lines, is analysed. The mutual capacitances and electric field close to high-voltage overhead lines are determined. The voltage on low voltage line, arising from the disturbance by capacitive coupling, is calculated. The distribution of this voltage in the vicinity of high-voltage lines is obtained.

Keywords: electromagnetic compatibility, electromagnetic disturbance, capacitive penetration, overhead power lines, high voltage.

1. Въведение

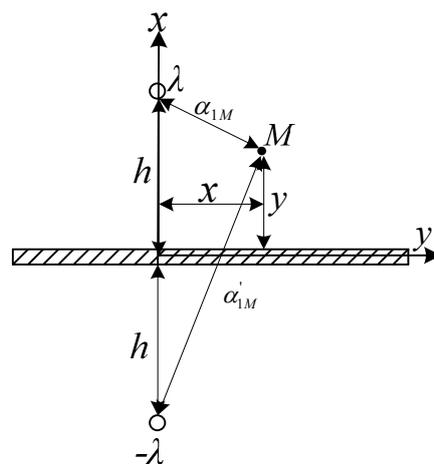
Между всички обекти от електроенергийна система съществува електромагнитна връзка, поради което те взаимно си влияят. Това влияние води до появата на електромагнитни смущения, нарушаващи нормалната работа на електротех-

ническите съоръжения. С цел ограничаване на електромагнитните смущения в електротехническите устройства, разположени в околността на електроенергийните обекти е необходимо да се изследват начините на проникване на смущенията. Капацитивното проникване е един от тези начини, което е и целта на настоящото изследване.

Капацитивното проникване се осъществява чрез паразитните капацитети C_{12} и C_{20} , които се получават между проводниците от два контура с различни потенциали разлики. Тук C_{12} е капацитет между двата проводника, а C_{20} е капацитет на втория проводник спрямо земята. Първият проводник принадлежи на влияещия контур, а вторият проводник – към контура изпитващ смущението [4].

2. Определяне електрическото поле създадено от еднопроводна линия при променлив ток

Разглежда се влиянието на еднопроводна линия за високо напрежение върху линия за пренос на данни (линия за ниско напрежение). Двете линии са разположени успоредно над повърхността на земята. Дължината на заредения проводника е голяма и електрическото поле създадено от него може да се счита за плоскопаралелно по направлението на линията. Проводника е разположен на разстояние h от земята и притежава заряд, чийто линейна плътност е λ (фиг.1).



Фиг. 1

Определянето на полето в точка M се осъществява с помощта на метода на огледалните образи. За целта се използват потенциалните уравнения на Максвел [6] и за потенциалите на двата проводника \dot{V}_1 и \dot{V}_2 се получава

$$\begin{cases} \dot{V}_1 = \alpha_{11}q_1 + \alpha_{12}q_2 \\ \dot{V}_2 = \alpha_{21}q_1 + \alpha_{22}q_2 \end{cases}, \quad (1)$$

където: α_{kk} и α_{kt} са потенциални коефициенти.

Коефициентът α_{kk} се явява величина обратно пропорционална на капацитета на проводника спрямо земята C_{kk} и се определя със следната формула

$$\alpha_{kk} = \frac{1}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{2h}{r_k}, \quad (2)$$

където:

h е височина на окачване на проводника;

r_k е радиус на проводника;

l е дължина на проводника;

ϵ е електрическа проницаемост на околната среда.

Коефициентът α_{km} се явява величина обратно пропорционална на взаимния капацитет между двата проводника C_{km} т.е.

$$\alpha_{km} = \frac{1}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{a'_{1M}}{a_{1M}}, \quad (3)$$

където:

a_{1M} е разстоянието от т. М до проводника;

a'_{1M} е разстоянието от т. М до огледалния образ на проводника.

Приема се, че линията за пренос на данни не е заредена т.е. $q_2 = 0$.

От системата (1) за потенциала \dot{V}_2 се получава

$$\dot{V}_2 = \dot{V}_1 \frac{\alpha_{21}}{\alpha_{11}}. \quad (4)$$

След заместване на (2) и (3) в (4) се получава

$$\dot{V}_2 = \dot{V}_1 \frac{\ln \frac{a'_{1M}}{a_{1M}}}{\ln \frac{2h}{r_1}}. \quad (5)$$

3. Определяне на електрическото поле създадено от трифазна линия за променлив ток

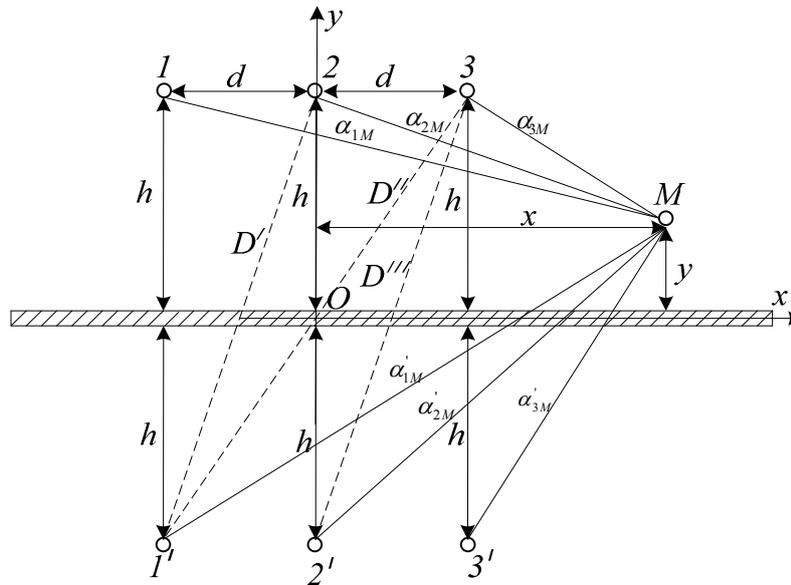
Разглежда се трифазна трипроводна линия. Трите проводника са окачени на едно и също разстояние спрямо земята h . Разположени са така, че разстоянието помежду тях d е едно и също (фиг.2).

Електрическо поле, което трифазната линия създава в еднопроводната линия, разположена на разстояние x , се определя по метода на огледалните образи. За целта се използват потенциалните уравнения на Максвел и се определят комплексните стойности на скаларните електрически потенциали

$$\begin{cases} \dot{V}_1 = \alpha_{11}q_1 + \alpha_{12}q_2 + \alpha_{13}q_3 + \alpha_{14}q_4 \\ \dot{V}_2 = \alpha_{21}q_1 + \alpha_{22}q_2 + \alpha_{23}q_3 + \alpha_{24}q_4 \\ \dot{V}_3 = \alpha_{31}q_1 + \alpha_{32}q_2 + \alpha_{33}q_3 + \alpha_{34}q_4 \\ \dot{V}_4 = \alpha_{41}q_1 + \alpha_{42}q_2 + \alpha_{43}q_3 + \alpha_{44}q_4 \end{cases}, \quad (6)$$

където: q_1 , q_2 и q_3 са зарядите на проводниците 1, 2, и 3 на трифазната линия в зависимост от техния потенциал спрямо земята;

q_4 е зарядът на проводника 4 на линията за пренос на данни.



Фиг.2

Приема се, че зарядът на еднопроводната линия, разположена в т. M , е равен на нула т.е. $q_4 = 0$. Следователно системата (6) придобива вида

$$\begin{cases} \dot{V}_1 = \alpha_{11}q_1 + \alpha_{12}q_2 + \alpha_{13}q_3 \\ \dot{V}_2 = \alpha_{21}q_1 + \alpha_{22}q_2 + \alpha_{23}q_3 \\ \dot{V}_3 = \alpha_{31}q_1 + \alpha_{32}q_2 + \alpha_{33}q_3 \\ \dot{V}_4 = \alpha_{41}q_1 + \alpha_{42}q_2 + \alpha_{43}q_3 \end{cases} \quad (7)$$

Неизвестните q_1, q_2, q_3 и \dot{V}_4 се определят след като се реши системата (7).

Тъй като взаимните потенциални коефициенти удовлетворяват принципа на електростатична взаимност

$$\alpha_{km} = \alpha_{mk}, \quad (8)$$

то следва, че

$$\alpha_{12} = \alpha_{21}, \alpha_{13} = \alpha_{31} \text{ и } \alpha_{23} = \alpha_{32}. \quad (9)$$

Разстоянията d между проводниците 1, 2, и 3 са едни и същи, от където следва, че при анализа може да се работи със средни стойности на коефициентите α_{12} , α_{13} и α_{23} т.е.

$$\alpha_{12\text{cp}} = \frac{1}{3}(\alpha_{12} + \alpha_{13} + \alpha_{23}). \quad (10)$$

Височината на окачване h на трите фази е една и съща и следователно

$$\alpha_{11} = \alpha_{22} = \alpha_{33}. \quad (11)$$

Потенциалите на проводниците \dot{V} , всъщност са напреженията на проводниците спрямо земята т.е. това са фазните напрежения \dot{U}

$$\dot{V}_1 = \dot{U}_1; \dot{V}_2 = \dot{U}_2; \dot{V}_3 = \dot{U}_3. \quad (12)$$

Заместват се (9), (10), (11) и (12) в системата (7) и се получава

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \alpha_{11}q_1 + \alpha_{12cp}q_2 + \alpha_{12cp}q_3 \\ \dot{U}_2 = \alpha_{12cp}q_1 + \alpha_{11}q_2 + \alpha_{12cp}q_3 \\ \dot{U}_3 = \alpha_{12cp}q_1 + \alpha_{12cp}q_2 + \alpha_{11}q_3 \\ \dot{U}_4 = \alpha_{41}q_1 + \alpha_{42}q_2 + \alpha_{43}q_3 \end{cases} \quad (13)$$

От първите три уравнения на (13) се определят q_1 , q_2 и q_3 , като се приложат формулите на Крамер

$$q_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} ; \quad q_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} ; \quad q_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} , \quad (14)$$

където:

$$\Delta = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12cp} & \alpha_{12cp} \\ \alpha_{12cp} & \alpha_{11} & \alpha_{12cp} \\ \alpha_{12cp} & \alpha_{12cp} & \alpha_{11} \end{vmatrix} ; \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} \dot{U}_1 & \alpha_{12cp} & \alpha_{12cp} \\ \dot{U}_2 & \alpha_{11} & \alpha_{12cp} \\ \dot{U}_3 & \alpha_{12cp} & \alpha_{11} \end{vmatrix} ;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \dot{U}_1 & \alpha_{12cp} \\ \alpha_{12cp} & \dot{U}_2 & \alpha_{12cp} \\ \alpha_{12cp} & \dot{U}_3 & \alpha_{11} \end{vmatrix} \quad \text{и} \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12cp} & \dot{U}_1 \\ \alpha_{12cp} & \alpha_{11} & \dot{U}_2 \\ \alpha_{12cp} & \alpha_{12cp} & \dot{U}_3 \end{vmatrix}$$

Резултатите получени за q_1 , q_2 и q_3 се заместват в четвъртото уравнение на (13), в резултат на което се получава напрежението на еднопроводната линия

$$\dot{U}_4 = \frac{\alpha_{14}\dot{U}_1 + \alpha_{24}\dot{U}_2 + \alpha_{34}\dot{U}_3}{\alpha_{11} - \alpha_{12cp}} . \quad (15)$$

Получения израз дава възможност да се определи въздействието на линия високо напрежение върху линии ниско напрежение, линии за пренос на данни или въздействието върху околната среда.

Приема се, че фазните напрежения на трипроводната линия са симетрична система т.е.

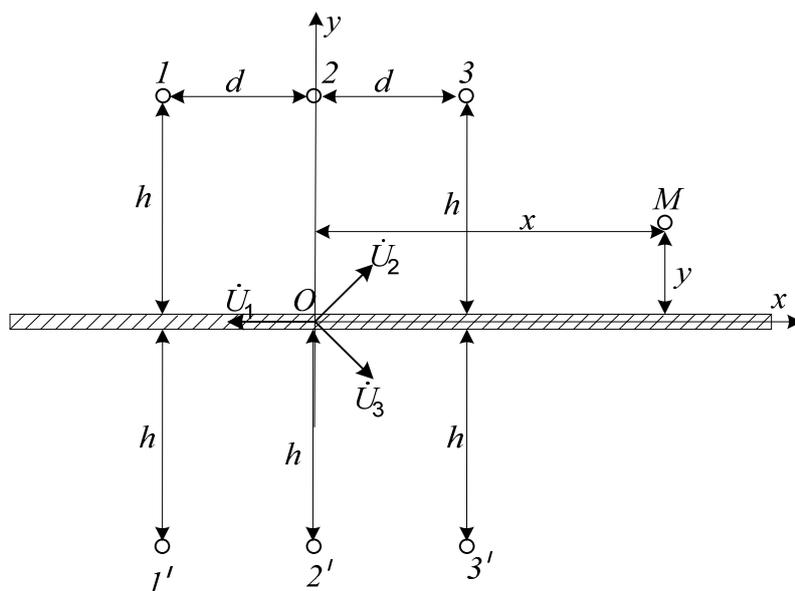
$$\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3 = 0. \quad (16)$$

Ако координатната система се постави под проводника 2 (фиг.3) и отчитането започне от повърхността на земята то следва, че

$$\dot{U}_1 = U_1 e^{j180^\circ} = -U_1 = -U_\phi ; \quad (17a)$$

$$\dot{U}_2 = a^2 \dot{U}_1 = U_1 e^{j180^\circ} e^{-j120^\circ} = U_\phi e^{j60^\circ} ; \quad (17b)$$

$$\dot{U}_3 = a \dot{U}_1 = U_1 e^{j180^\circ} e^{j120^\circ} = U_\phi e^{-j60^\circ} . \quad (17c)$$



Фиг.3

Следователно за напрежението \dot{U}_4 се получава

$$\dot{U}_4 = \frac{U_\phi}{\alpha_{11} - \alpha_{12\text{cp}}} (-\alpha_{14} + \alpha_{24}e^{j60^\circ} + \alpha_{34}e^{-j60^\circ}). \quad (18)$$

В съответствие със схемата от фиг.2 се определят коефициентите, участващи в уравнение (18):

$$\alpha_{14} = \frac{1}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{a'_{1M}}{a_{1M}} = \frac{1}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{\sqrt{(h+y)^2 + (d+x)^2}}{\sqrt{(h-y)^2 + (d+x)^2}}; \quad (19)$$

$$\alpha_{24} = \frac{1}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{a'_{2M}}{a_{2M}} = \frac{1}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{\sqrt{(h+y)^2 + x^2}}{\sqrt{(h-y)^2 + x^2}}; \quad (20)$$

$$\alpha_{34} = \frac{1}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{a'_{3M}}{a_{3M}} = \frac{1}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{\sqrt{(h+y)^2 + (x-d)^2}}{\sqrt{(h-y)^2 + (x-d)^2}}; \quad (21)$$

$$\alpha_{11} = \frac{1}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{2h}{r}, \quad (22)$$

където: r е радиус на проводника.

Определя се и средната стойност на взаимните потенциални коефициенти на въздушната линия за високо напрежение $\alpha_{12\text{cp}}$

$$\alpha_{12\text{cp}} = \frac{1}{3} (\alpha_{12} + \alpha_{13} + \alpha_{23}), \quad (23)$$

където:

$$\alpha_{12} = \alpha_{23} = \frac{1}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{\sqrt{(2h)^2 + d^2}}{d}; \quad (24a)$$

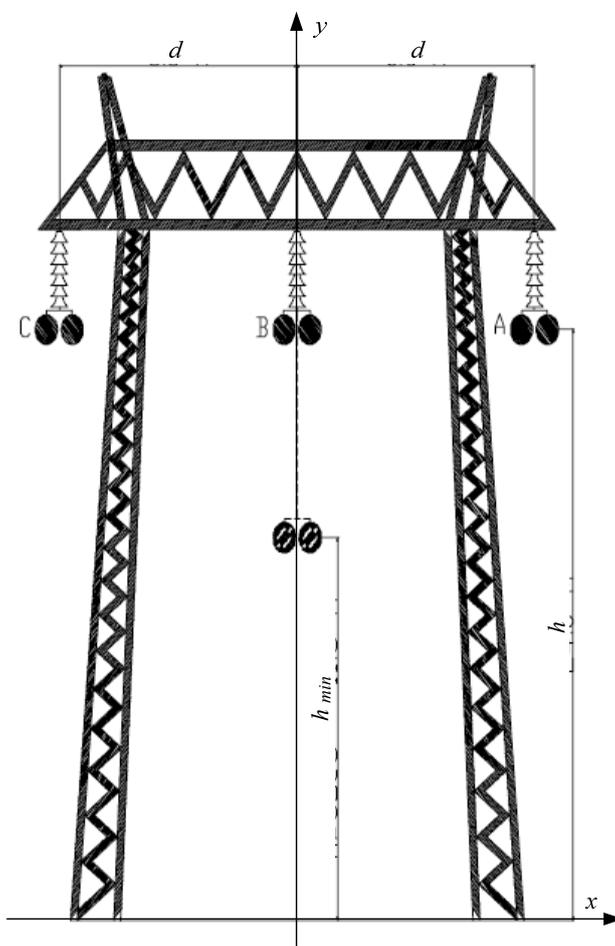
$$\alpha_{13} = \frac{1}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{\sqrt{(2h)^2 + (2d)^2}}{2d}. \quad (24b)$$

4. Изследване въздействието на линия за високо напрежение върху линия за ниско напрежение

Разглежда се околното пространство около стълб от електропровод за високо напрежение – 220 kV.

Като приемник на електромагнитните смущения от електропровода ВН се разглежда линия за пренос на данни (линия за ниско напрежение).

Схемата на стълба от електропровода за високо напрежение (въздушна линия) е показана на фиг.4.



Фиг.4

Определя се напрежението на еднопроводната линия за ниско напрежение, разположена в близост до въздушната линия за високо напрежение – 220 kV като се използва (15).

При изчисленията се приемат дължините: $l=1\text{ m}$; $h = 19\text{ m}$; $h_{min} = 7\text{ m}$ $d = 6\text{ m}$ [5].

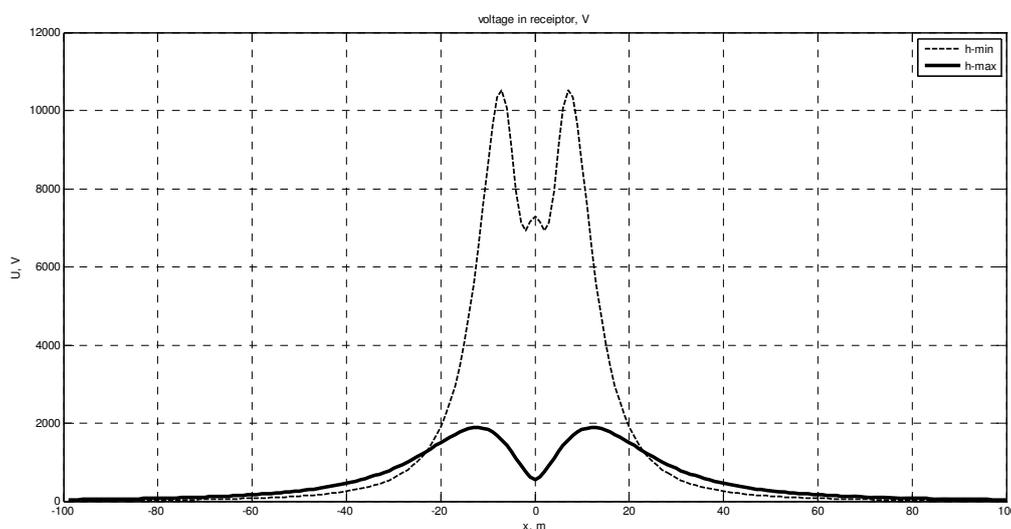
Проводниците на въздушната линия за 220 kV са със сечение 500 mm^2 .

Проницаемостта на околната среда (въздух) е $\varepsilon = \varepsilon_0 = 8.86 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$.

Фазното напрежение на линията за високо напрежение е $U_\phi = 133 \text{ kV}$.

Изчислено е напрежението на смущение \dot{U}_4 в проводника на линията за ниско напрежение (линията за пренос на данни), създадено от въздушния електропровод за високо напрежение 220 kV, за различни стойности на височината на окачване на проводника h и при различни стойности на височината на проводника y на линията за ниско напрежение от земята.

На фиг.5 са показани разпределенията на модула на напрежението на проводника от линията за ниско напрежение в равнина перпендикулярна на направлението на въздушния електропровод за високо напрежение. Изчисленият са извършени при височина на проводника на линията за ниско напрежение от земята $y = 1.8 \text{ m}$, съответстваща на човешки ръст.

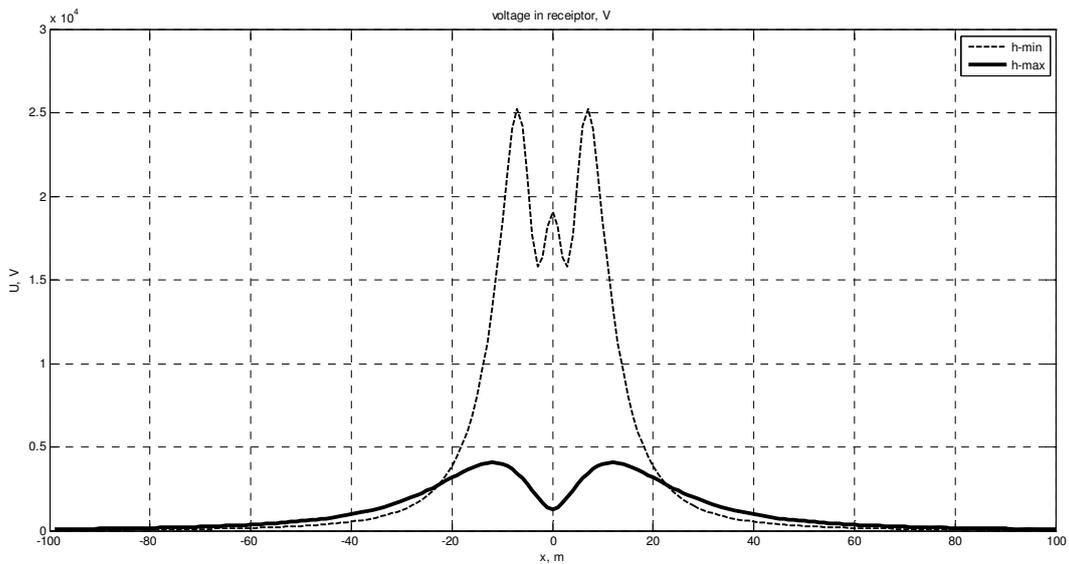


Фиг.5

Стойностите на напрежението от капацитивното проникване при минимална височина на проводника $h_{min} = 10 \text{ m}$ (това е височината на провеса на проводника в междустълбието) са значително по-големи от тези при височината на окачване на проводника при стълба h . Най-опасната зона за човека е зоната, разположена под проводниците на стълба в радиус на 15 m, при което интензитетът на полето има стойности превишаващи допустимите стойности.

На фиг.6 са показани разпределенията на модула на напрежението на проводника от линията за ниско напрежение в равнина перпендикулярна на направлението на въздушния електропровод за високо напрежение. Изчисленият са извършени при височина на проводника на линията y за ниско напрежение от земята $y = 5.0 \text{ m}$, съответстваща на височината на разполагане на проводниците на линия за ниско напрежение от транспортни средства.

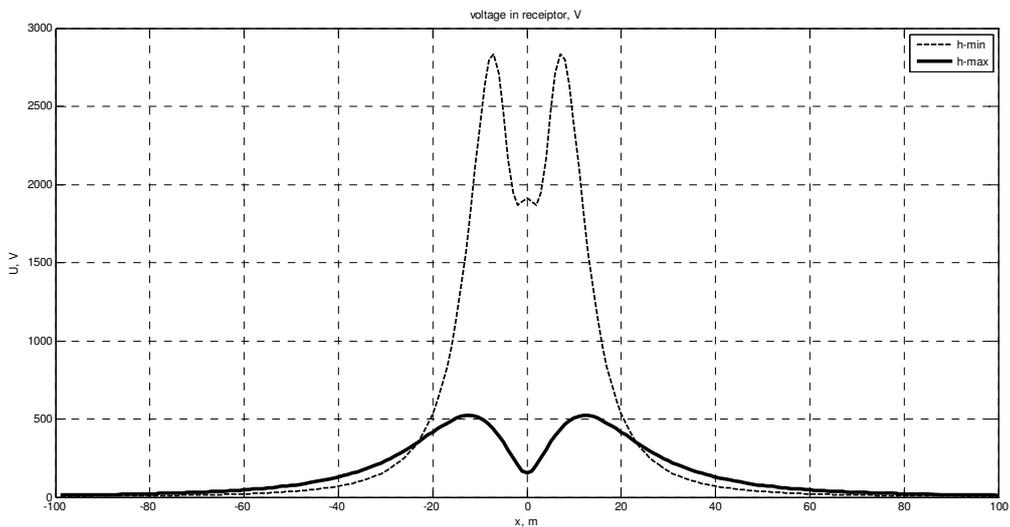
Стойностите на напрежението от капацитивното проникване в проводника на линия за ниско напрежение са много по-големи от тези при височина 1.8m. Разположението на проводниците на линията за ниско напрежение в зоната на минималната височина на проводниците на линията за високо напрежение е опасно, поради високите стойности на напрежението на смущение.



Фиг.6

Изчислено е напрежението на смущение \dot{U}_4 в проводника на линията за ниско напрежение (линията за пренос на данни), създадено от въздушния електропровод за високо напрежение 220 kV, за различни стойности на височината на окачване на проводника h и при разполагане на линията за ниско напрежение на земята.

На фиг.7 са показани разпределенията на модула на напрежението на проводника от линията за ниско напрежение в равнина перпендикулярна на направлението на въздушния електропровод за високо напрежение при разполагане на линията за ниско напрежение на земята



Фиг.7

При разположение на проводниците на линията за ниско напрежение (линията за пренос на данни) до земята, напрежението на смущение от капацитивната връзка има значително по-ниски стойности.

5. Заключение

Определени са взаимните коефициенти, съответстващи на взаимните капацитети между проводниците на линията за високо напрежение и линията за пренос на данни(линия за ниско напрежение), разположена в близост до въздушната линия за високо напрежение 220 kV.

Изчислено е напрежението на линията за ниско напрежение, възникнало от електромагнитното смущение посредством капацитивната връзка. Получено е разпределението на това напрежение в околността на електропровода за високо напрежение за различни стойности на височината на окачване на проводника h и при различни височини y на проводника на линията за ниско напрежение от земята.

Стойностите на напрежението от капацитивното проникване при минимална височина на проводника h_{min} (провеса на проводника в междустълбието) за значително по-големи от тези при височината на окачване на проводника при стълба. Определена е най-опасната зона за разположение на човек около електропровода за високо напрежение 220 kV.

БЛАГОДАРНОСТИ

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ – София-2013 г. по Проект № 132ПД0004-16.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Nabiger E. (1998), *Electromagnetic Compatibility*, Hüthig, 1998.
- [2] Paul C. R. (1992), *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, John Wiley, 1992.
- [3] Харлов Н.Н. (2007), *Электромагнитная совместимость в электроэнергетике*. Издательство ТПУ, Томск 2007.
- [4] Chervenкова Т., I. Hristova (2013), *Sources of electromagnetic disturbances and cases of their penetration in electrical objects*, Proceedings of Technical University of Sliven, vol. 5, 2013.
- [5] Генков Н., Захариев В. (1990), *Механична част на електрически мрежи*, Издателство на ТУ София, 1990.
- [6] Папазов С.П., Фархи С.Л.(1988), *Теоретична електротехника*, част 3, София, Техника, 1988.

Автори: Атанас Червенков, доц. д-р, катедра „Теоретична електротехника”, Факултет Автоматика, Технически Университет - София, E-mail address: acher@tu-sofia.bg ; Тодорка Червенкова доц. д-р, катедра „Електротехника, електроника и автоматика”, ИПФ Сливен, Технически Университет - София, E-mail address: tchervenкова@tu-sofia.bg ; Ивелина Христова, катедра „Електротехника, електроника и автоматика”, ИПФ Сливен, Технически Университет - София

Постъпила на 14.05.2014

Рецензент проф. д-р Живко Георгиев