



ISSN 1311-0829

ГОДИШНИК НА ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-СОФИЯ

Том 64, книга 3, 2014

VI^{та} КОНФЕРЕНЦИЯ НА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ „ЕФ 2014“

15 – 17 септември 2014 г., Созопол, България



PROCEEDINGS OF TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA

Volume 64, Issue 3, 2014

VIth CONFERENCE OF FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING “EF 2014”

September 15 - 17, 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 YATCHEV

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

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ

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

VI^{та} КОНФЕРЕНЦИЯ НА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ „ЕФ 2014“

15 – 17 септември 2014 г., Созопол, България

ПРОГРАМЕН КОМИТЕТ

председател

проф. д-тн **Иван Ячев**

членове

доц. д-р **Вълчан Георгиев**

доц. д-р **Ангел Цолов**

доц. д-р **Петър Наков**

доц. д-р **Георги Тодоров**

проф. д-тн **Илиана Маринова**

доц. д-р **Валентин Колев**

доц. д-р **Светлана Цветкова**

доц. д-р **Ивайло Долапчиев**

проф. д-тн **Ганчо Божилов**

Научен секретар

доц. д-р **Николай Матанов**

TECHNICAL UNIVERSITY - SOFIA

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING

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

VIth CONFERENCE OF FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING “EF 2014”

September 15 - 17, 2014, Sozopol, Bulgaria

PROGRAM COMMITTEE

chair of PC

Prof. DSc **Ivan Yatchev**

members of PC

Assoc. Prof. PhD **Vulchan Gueorgiev**

Assoc. Prof. PhD **Angel Tzolov**

Assoc. Prof. PhD **Peter Nakov**

Assoc. Prof. PhD **Georgi Todorov**

Prof. DSc **Iliana Marinova**

Assoc. Prof. PhD **Valentin Kolev**

Assoc. Prof. PhD **Svetlana Tzvetkova**

Assoc. Prof. PhD **Ivaylo Dolapchiev**

Prof. DSc **Gantcho Bojilov**

scientific secretary

Assoc. Prof. PhD **Nikolay Matanov**

СЪДЪРЖАНИЕ том 64, книга 3

ЕЛЕКТРОТЕХНИКА

1.	Валентин Колев, Ивайло Лазаров, Анка Жеглова	15
	<i>Влияние на легиращите добавки върху характеристиките на сегнетокерамични материали</i>	
2.	Валентин Колев, Цветелина Богоева	23
	<i>Анализ на пределните годишни технологични разходи за разпределение и снабдяване на ЕВН България АД</i>	
3.	Валентин Колев	29
	<i>Резултати от въвеждането на балансиращия пазар</i>	
4.	Валентин Колев	37
	<i>Фирмена стандартна норма (методика) за установяване на пределните годишни технологични разходи за разпределение на електрическа енергия в ЧЕЗ Разпределение АД</i>	
5.	Димо Стоилов, Никола Николов, Теодора Терентева	45
	<i>Регионално обединяване на електроенергийните пазари в САЩ</i>	
6.	Чавдар Джамбазки	55
	<i>Определяне предавателните числа на скоростната кутия на електромобила</i>	
7.	Димо Стоилов, Никола Николов, Теодора Терентева	61
	<i>Организация и функции на обединената ЕЕС на ПИ ДЖИ ЕМ</i>	
8.	Петър Наков	71
	<i>Частични разряди</i>	
9.	Даниел Добрилов	77
	<i>Управляеми шунтови реактори</i>	
10.	Даниел Добрилов, Ангел Цолов	85
	<i>Средства за компенсиране на капацитивна мощност- част 2</i>	
11.	Димитър Богданов, Нели Харизанова	93
	<i>Модули за векторно измерване (PMU) за системи за релейна защита</i>	
12.	Димитър Богданов	103
	<i>Аспекти на защитата в дълбочина на атомните електроцентрали по отношение на някои външни събития</i>	
13.	Димитър Богданов, Стефан Янчев	111
	<i>Изследване на нов тип многофункционално микропроцесорно устройство за релейна защита на синхронен генератор</i>	
14.	Десислав Тодоров	121
	<i>Индексирана библиографска справка относно анализ на нормални и аварийни режими по данни от автоматични регистратори</i>	
15.	Реджеп Шакири, Димитър Богданов	131
	<i>Присъединяване на нови генератори към подстанция „Призрени 2“ и оценка на влиянието им върху нивата на токове на късо съединение</i>	

16.	Петър Након, Везир Реджепи.	139
	<i>Анализ на преходни процеси по време на работа на електроенергийни системи</i>	
17.	Георги Димитров, Марин Вълков.	145
	<i>Адаптивни системи за модернизация на осветлението в метроракетите на софийския Метрополитен</i>	
18.	Иван Петров, Иван Лалов, Весела Георгиева, Илиана Лазарова.	155
	<i>Влияние на психологичното състояние на локомотивните машинисти за подобряване енергийната ефективност на електрическия подвижен състав</i>	
19.	Иван Петров, Георги Димитров, Борислав Цветанов.	163
	<i>Многофакторно електронно регулиране на отоплителните системи в трамвайни мотриси и тролейбуси</i>	
20.	Захари Зарков, Людмил Стоянов, Владимир Лазаров, Християн Кънчев.	173
	<i>Платформа за изследване на фотоволтаични генератори със слънцеследящи системи</i>	
21.	Светлана Цветкова, Николай Стоманярски, Ангел Петлешков.	183
	<i>Влияние на електрообзавеждането върху качеството на електрическата енергия</i>	
22.	Ангел Петлешков, Николай Стоманярски, Светлана Цветкова, Ваня Петрова.	193
	<i>Изследване на ефективността на електрозадвижвания на асинхронен двигател</i>	
23.	Пламен Цанков.	201
	<i>Разработка на софтуер за определяне и разпределяне на компенсираща кондензаторна мощност в промишлени предприятия</i>	
24.	Борислав Бойчев, Вълчан Георгиев, Александър Крумов.	211
	<i>Електронен преобразувател за измерване на реактивна мощност и енергия</i>	
25.	Иво Първанов.	217
	<i>Моделиране режимите на работа на електрическите двигатели на багерна група в ТФЕЦ</i>	
26.	Светлана Цветкова.	227
	<i>Модел за оптимално профилактично обслужване на електрообзавеждането</i>	
27.	Ангел Пачаманов, Камелия Николова, Татяна Чуваткина, Евгения Гусева.	233
	<i>Относно точността при измерване на светлинен поток на светодиодни модули с интегрален фотометър</i>	
28.	Камелия Николова, Димитър Павлов, Николина Янева, Ангел Пачаманов.	243
	<i>Влияние на огледалото на разпределителен фотометър върху точността при фотометриране на осветители</i>	
29.	Захари Иванов.	253
	<i>Приложение на осветители със светлоразпределение тип "Bat Wing" в административни и обществени сгради</i>	
30.	Ива Петринска, Дилиан Иванов.	263
	<i>Постигане на минимален разход на електрическа енергия при максимално удовлетворяване на нуждите на потребителите от светлина</i>	

31.	Йордан Шопов, Симона Петракиева, Захари Иванов.....	273
	<i>Параметри и режими на работа на антипаралелно свързани светодиоди при захранване с постоянно и променливо напрежение</i>	
32.	Ива Драганова, Валентин Колев, Стилиян Чешмеджиев.....	279
	<i>Анализ на осветлението в ОРУ на подстанциите в МЕР София град</i>	
33.	Ива Драганова, Валентин Колев, Борислав Бойчев.....	287
	<i>Технико-Икономически анализ при реконструкция на ОУ в ОРУ на подстанциите в МЕР София град</i>	
34.	Ангел Пачаманов, Петър Стоев, Константин Христов, Даниел Кайцанов.....	297
	<i>Управление на улично осветление при съвместна работа на конвенционални и LED-осветители</i>	
35.	Милко Йовчев, Пламен Цанков.....	307
	<i>Модернизация на осветителна уредба в учебна сграда с LED осветители</i>	
36.	Камелия Николова, Николина Янева, Петя Джановска.....	317
	<i>Изследване на фотобиологичното въздействие от различни светодиодни източници</i>	
37.	Камелия Николова, Петя Джановска, Димитър Павлов.....	325
	<i>Избор на филтри за съгласуване на фотоелементи по кривата за оценяване на фотобиологичния риск от синя светлина</i>	
38.	Димитър Павлов.....	333
	<i>Влияние на спектралните коефициенти на отражение на пътните настилки на зрителното усещане в мезопичната област</i>	
39.	Ганчо Божилов, Михо Михов.....	343
	<i>Пусков процес на еднофазен синхронен двигател с постоянни магнити в ротора</i>	
40.	Георги Тодоров, Божидар Стоев.....	351
	<i>Определяне на реактансите на синхронни двигатели с постоянни магнити с различна конфигурация на ротора</i>	
41.	Стефан Методиев, Мигленна Тодорова, Валентин Матеев, Илиана Маринова.....	361
	<i>Система за експериментално изследване на характеристиките на магнитни материали при висока честота</i>	
42.	Мигленна Тодорова, Стефан Методиев, Валентин Матеев, Илиана Маринова.....	369
	<i>Измерване на характеристиките на магнитни материали при висока честота</i>	
43.	Константин Малчев, Валентин Колев.....	377
	<i>Оптимизация на настройките на релейните защиты на подстанция „Руднична” в АСАРЕЛ МЕДЕТ АД</i>	
44.	Валентин Колев, Васил Шуманов.....	385
	<i>Оценка на надеждността на руслови водноелектрически централи</i>	
45.	Валентин Матеев, Росен Танев, Илиана Маринова.....	393
	<i>Моделиране на преходни процеси във вакуумен прекъсвач високо напрежение</i>	

CONTENTS volume 64, Issue 3

ELECTRICAL ENGINEERING

1.	Valentin Kolev, Ivaylo Lazarov, Anka Zheglova	15
	<i>Effect of Dopants on the Characteristics of Ferroelectrics Ceramic Materials</i>	
2.	Valentin Kolev, Tsvetelina Bogoeva	23
	<i>Analysis of the Maximal Annual Losses at Distribution Level of EVN Bulgaria AD</i>	
3.	Valentin Kolev	29
	<i>The Results of Implementing Balanced Market</i>	
4.	Valentin Kolev	37
	<i>Company standard norm for the establishment of maximum annual losses at distribution level of electricity in CEZ Distribution AD</i>	
5.	Dimo Stoilov, Nikola Nikolov, Teodora Terenteva	45
	<i>Regional Integration of Electricity Markets in USA</i>	
6.	Chavdar Djambazki	55
	<i>Determination Gear Ratios of the Gearbox Electric Vehicle</i>	
7.	Dimo Stoilov, Nikola Nikolov, Teodora Terenteva	61
	<i>Organization and Functions of PJM Interconnection</i>	
8.	Petar Nakov	71
	<i>Partial Discharges</i>	
9.	Daniel Dobrilov	77
	<i>Variable Shunt Reactors</i>	
10.	Daniel Dobrilov, Angel Colov	85
	<i>Means for Reactive Power Compensation - part 2</i>	
11.	Dimitar Bogdanov, Nelly Harizanova	93
	<i>Phasor Measurement Units (PMUs) in Relay Protection Systems</i>	
12.	Dimitar Bogdanov	103
	<i>Aspects of the Defense in Depth of the Nuclear Power Plants in Respect to Some External Events</i>	
13.	Dimitar Bogdanov, Stefan Yanchev	111
	<i>Experimental Study on Multifunction Microprocessor Device for Relay Protection of Synchronous Generator</i>	
14.	Desislav Todorov	121
	<i>An Indexed Bibliography on Fault Section Estimation in Electric Power Plants, Electrical Substations, Electric Transmission and Distribution Networks</i>	
15.	Rexhep Shaqiri, Dimitar Bogdanov	131
	<i>Connection of new Generators to the "Prizreni 2" Substation and their Impact on the Levels of Short Circuit Currents</i>	
16.	Petar Nakov, Vezir Rexhepi	139
	<i>An Analysis of Transient Processes During Operation in the Electric Power Systems</i>	

17.	Georgi Dimitrov, Marin Valkov.....	145
	<i>Adaptive Systems for Modernization of Lightning Equipment in the Metro-Trains of the Sofia Subway</i>	
18.	Ivan Petrov, Ivan Lalov, Vesela Georgieva, Iliyana Lazarova.....	155
	<i>Influence of the Locomotive Engineer's Psychological State to Improve Energy Efficiency of Electrical Rolling Stock</i>	
19.	Ivan Petrov, Georgi Dimitrov, Borislav Tzvetanov.....	163
	<i>Multifactor Electronic Control of the Heating Systems in Trams and Trolleys</i>	
20.	Zahari Zarkov, Ludmil Stoyanov, Vladimir Lazarov, Hristiyan Kanchev.....	173
	<i>Platform for Research on PV Generators with Solar Trackers</i>	
21.	Svetlana Tzvetkova, Nikolai Stomaniarski, Angel Petleshkov.....	183
	<i>Influence of Electrical Equipment on Electrical Energy Quality</i>	
22.	Angel Petleshkov, Nikolai Stomaniarski, Svetlana Tzvetkova, Vania Petrova.....	193
	<i>Study of Effectiveness of Electric Drives of Induction Motor</i>	
23.	Plamen Tsankov.....	201
	<i>Development of Software for Determining and Distribution of Compensational Capacitor Power in Industrial Enterprises</i>	
24.	Borsilav Bojchev, Vultchan Gueorgiev, Aleksander Krumov.....	211
	<i>Electronic Transducer for Reactive Power and Energy Measurement</i>	
25.	Ivo Parvanov.....	217
	<i>Modeling Mode of The Electric Motor Excavators Group in District Heating Power Plants</i>	
26.	Svetlana Tzvetkova.....	227
	<i>Optimal Preventive Maintenance Model of the Electrical Equipment</i>	
27.	Angel Pachamanov, Kameliya Nikolova, Tatyana Chuvatkina, Evgeniya Guseva.....	233
	<i>The Accuracy in Measurement of the Luminous Flux of Led Modules with Spherical Photometer</i>	
28.	Kameliya Nikolova, Dimitur Pavlov, Nikolina Yaneva, Angel Pachamanov.....	243
	<i>Influence of the Distribution Photometer Mirror on Accuracy in Luminaires' Photometry</i>	
29.	Zahari Ivanov.....	253
	<i>Use Of Lighting Fitting with Light Distribution Type "Bat Wing" in Administrative and Public Buildings</i>	
30.	Iva Petrinska, Dilian Ivanov.....	263
	<i>Measures for Minimal Energy Consumption and Maximal User Satisfaction for Indoor Lighting Systems</i>	
31.	Yordan Shopov, Simona Petrakieva, Zahari Ivanov.....	273
	<i>Parameters and Operating Modes of Antiparallel Light Emitting Diodes in DC and AC Supplying</i>	
32.	Iva Draganova, Valentin Kolev, Stiliqn Cheshmedjiev.....	279
	<i>Analysis of Lighting Switchyard Substation in Mains Operational District Sofia City</i>	
33.	Iva Draganova, Valentin Kolev, Borislav Boichev.....	287
	<i>Technical and Economic Analysis of Reconstruction Lighting in Mains Operational District Sofia City</i>	

34.	Angel Pachamanov, Peter Stoev, Konstantin Hristov, Daniel Kaytsanov.....	297
	<i>Street Lighting Management in the Cooperation of Conventional and LEDs-Lighting</i>	
35.	Milko Yovchev, Plamen Tsankov.....	307
	<i>Modernization of Lighting System in Education Building with LED Luminaires</i>	
36.	Kamelia Nikolova, Nikolina Yaneva, Petya Djanovska.....	317
	<i>Evaluation of Photobiological Effect of Different LED Sources</i>	
37.	Kamelia Nikolova Petya Djanovska, Dimitar Pavlov.....	325
	<i>Selection of Photoelements' Filters for Evaluation of "Blue Light Hazard"</i>	
38.	Dimitar Pavlov.....	333
	<i>Impact of the Spectral Reflectance Coefficients on the Road Surfaces and on the Visual Sensation in the Mesopic Region</i>	
39.	Gantcho Bojilov, Miho Mihov.....	343
	<i>Starting Process of Single Phase Synchronous Motor with Permanent Magnets in the Rotor</i>	
40.	George Todorov, Bozhidar Stoev.....	351
	<i>Determination of Reactances of Permanent Magnet Synchronous Motors with Different Rotor Configuration</i>	
41.	Stefan Metodiev, Miglenna Todorova, Valentin Mateev, Iliana Marinova.....	361
	<i>System for Experimental Study of the Characteristics of Magnetic Materials at High Frequency</i>	
42.	Miglenna Todorova, Stefan Metodiev, Valentin Mateev, Iliana Marinova.....	369
	<i>Measurement of the Characteristics of Magnetic Materials at High Frequency</i>	
43.	Konstantin Malchev, Valentin Kolev.....	377
	<i>Optimization of Protections' Settings to Substation "Rudnichna" in AS-AREL MEDET AD</i>	
44.	Valentin Kolev, Vasil Chumanov.....	385
	<i>Reliability and Availability Assessment of Hydro Power Station</i>	
45.	Valentin Mateev, Rosen Tanev, Iliana Marinova.....	393
	<i>Modeling of Switching-Off Processes in Vacuum High Voltage Interrupter</i>	

Author's Index - Volume 64, Issue 3

<i>author</i>	<i>article</i>	<i>author</i>	<i>article</i>
1 Aleksander Krumov	24	34 Marin Valkov	17
2 Angel Colov	10	35 Miglenna Todorova	41, 42
3 Angel Pachamanov	27, 28, 34	36 Miho Mihov	39
4 Angel Petleshkov	21, 22	37 Milko Yovchev	35
5 Anka Zheglova	1	38 Nelly Harizanova	11
6 Borislav Boichev	33, 24	39 Nikola Nikolov	5, 7
7 Borislav Tzvetanov	19	40 Nikolai Stomaniarski	21, 22
8 Bozhidar Stoev	40	41 Nikolina Yaneva	28, 36
9 Chavdar Djambazki	6	42 Petar Nakov	16, 8
10 Daniel Dobrilov	10, 9	43 Peter Stoev	34
11 Daniel Kaytsanov	34	44 Petya Djanovska	36, 37
12 Desislav Todorov	14	45 Plamen Tsankov	23, 35
13 Dilian Ivanov	30	46 Rexhep Shaqiri	15, 16
14 Dimitar Bogdanov	11, 12, 13, 15	47 Rosen Tanev	45
15 Dimitar Pavlov	37, 38, 28	48 Simona Petrakieva	31
14 Dimo Stoilov	5, 7	49 Stefan Metodiev	41, 42
17 Evgeniya Guseva	27	50 Stefan Yanchev	13
18 Gantcho Bojilov	39	51 Stiliqn Cheshmedjiev	32
19 Georgi Dimitrov	17, 19	52 Svetlana Tzvetkova	21, 22, 26
20 George Todorov	40	53 Tatyana Chuvatkina	27
21 Hristiyan Kanchev	20.	54 Teodora Terenteva	5, 7
22 Iliana Marinova	41, 42, 45	55 Tsvetelina Bogoeva	2
23 Iliyana Lazarova	18	56 Valentin Kolev	1, 2, 3, 32, 33, 4, 43, 44
24 Iva Draganova	32, 33	57 Valentin Mateev	41, 42
25 Iva Petrinska	30	58 Vania Petrova	22
26 Ivan Lalov	18	59 Vasil Chumanov	44
27 Ivan Petrov	18, 19	60 Vesela Georgieva	18
28 Ivaylo Lazarov	1.	61 Vladimir Lazarov	20
29 Ivo Parvanov	25	62 Vultchan Gueorgiev	24
30 Kamelia Nikolova	36, 37, 27, 28	63 Yordan Shopov	31
31 Konstantin Hristov	34	64 Zahari Ivanov	29, 31
32 Konstantin Malchev	43	65 Zahari Zarkov	20
33 Ludmil Stoyanov	20		

Volume 64 Issue 3

pages

388

articles

45

authors

65

ВЛИЯНИЕ НА ЛЕГИРАЩИТЕ ДОБАВКИ ВЪРХУ ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА СЕГНЕТОКЕРАМИЧНИ МАТЕРИАЛИ

Валентин Колев, Ивайло Лазаров, Анка Жеглова

Резюме: В работата е разгледано влиянието на различни количества легиращи добавки върху характеристиките на синтезиран $BaTiO_3$. Изследвано е влиянието им върху относителното свиване и плътността на получените образци при различни температури на синтез. Изследвани са зависимостите на относителната диелектрична проникваемост от температурата и интензитета на електрическото поле. Определени са точката на Кюри и коефициента на ефективна нелинейност за изследваните състави.

Ключови думи: бариев титанат, легиращи добавки, коефициент на нелинейност

EFFECT OF DOPANTS ON THE CHARACTERISTICS OF FERROELECTRICS CERAMIC MATERIALS

Valentin Kolev, Ivaylo Lazarov, Anka Zheglova

Abstract: In the work examined the influence of different amounts of dopants on the characteristics of synthesized $BaTiO_3$. Were studied the influence on relative shrinkage and density of the obtained samples temperature of the synthesis. Were studies dependencies of relative permittivity of the temperature and the electric field intensity. Are defined Curie point and coefficient effective nonlinearity studied samples of the each materials.

Keywords: barium titanate, dopants, coefficient of nonlinearity

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Бариевият титанат е един от широко използваните и интересни за изследване сегнетоелектрични материали. Той намира приложение за изработване на нелинейни кондензатори [1], сензори [2], термистори [3], кондензатори с голям капацитет и други елементи за автоматиката.

В параелектрично състояние бариевият титанат $BaTiO_3$ има кубична структура [4]. В центъра на куба е разположен титанов (Ti) атом, а по върховете на куба атоми на бария (Ba). В центъра на всяка страна на куба - атоми на кислорода (O). При подреждане на атомите в елементарната клетка "центърът на тежестта" на положителните и отрицателните заряди съвпадат, и диполният момент на клетката е нула. Това е параелектрична неполярна фаза.

При температури по-високи от 100°C, BaTiO₃ има фазов преход и от кубична структура преминава в тетрагонална. Тетрагоналната елементарна клетка е получена в резултат на разширяване на единия ръб на куба, който се превръща в тетрагонална ос, другите два ръба на куба намаляват, но остават равни един на друг. Атомът на титана в тази структура има две равновесни състояния по направление на тетрагоналната ос на клетката, което определя появата на диполен момент. Бариевият титанат в тетрагонална фаза е полярен със спонтанна поляризация.

Параметрите на сегнетоелектричния бариев титанат могат да се управляват чрез добавянето на различни легиращите добавки, като Sr, Ca, Zr, La, Zn, Sb [5, 6, 7, 8, 9 и 10]. Добавянето на ванадий [11] води до повишаване на точката на Кюри и на ъгъла на диелектричните загуби tgδ. Легирането с редкоземни метали [12] и с бисмутов ниобат BiNbO₄ [13] увеличава стойността на относителната диелектрична проницаемост ε_r и намалява tgδ.

Целта на настоящата работа е да се установи влиянието на двубисмутов триоксид Bi₂O₃ и на борна киселина H₃BO₃ върху параметрите на синтезиран бариев титанат в лабораторни условия.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

В работата са получени и изследвани следните синтезирани състави с различно процентно съдържание на борна киселина, а първият състав се легира с двубисмутов триоксид:

BaTiO₃ + 7 wt% Bi₂O₃ ; BaTiO₃ + 1,85 wt % H₃BO₃; BaTiO₃ + 3,71 wt % H₃BO₃;
BaTiO₃ + 5,56 wt% H₃BO₃

Последователност при изготвяне на материалите

При изготвяне на материалите е използвана стандартна керамична технология. Първоначално се изчислява масовото съотношение на изходните компоненти за всеки състав. Изходните материали в необходимите количества се хомогенизират в 3% разтвор на поливинилов алкохол за 4 часа на планетарна мелница. След изсушаване на съставите се оформят дискове с диаметър 11 mm, с различна дебелина, пресовани с налягане 300 Мра. Синтезът се извършва при различни температури за три часа във въздушна среда.

Началният диаметър на образците е 11mm. Той се определя от диаметъра на пресформата. При изпичането скоростта на загряване е 300°C/час, като образците престояват в изотермичен режим при максимална температура в продължение на 3 часа. Синтезирането на керамика е направено при следните температури 1025°C, 1050°C, 1075°C, 1100°C, 1125°C, 1150°C. Охлаждането след всички изпичания е естествено при затворена пещ.

При синтез протичат твърдофазни реакции и като критерий за тяхното пълно протичане се контролира крайния диаметър, който трябва да бъде по-малък от началния, ако са достигнати крайните фази на синтез.

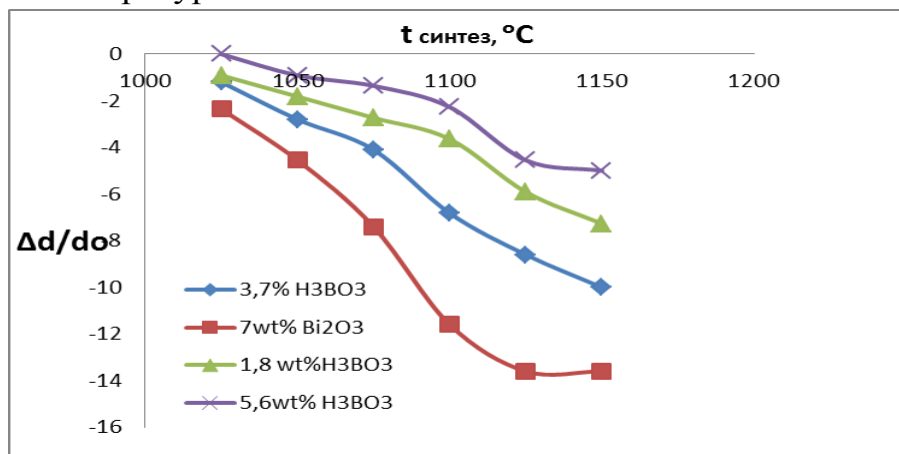
Получените образци и при шестте температури на изпичане са с добра механична якост и без напуквания.

Влияние на температурата на синтез върху относителното свиване на образците.

Относителното свиване на образците се пресмята по формулата:

$$\Delta d\% = \frac{d - d_o}{d_o} \quad (1)$$

където: d е диаметър на образеца след синтез, mm; d_o - първоначален диаметър на образеца, mm. На фиг.1. е дадена зависимостта на относителното свиване на образците от температурата на синтез.

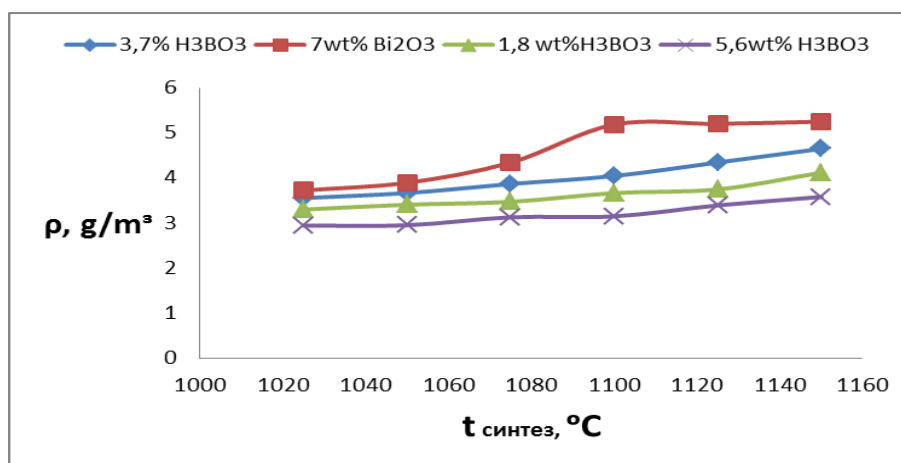


Фиг.1. Зависимост на относителното свиване на образците от температурата на синтез.

От фиг.1. се вижда, че и при четирите състава има свиване на образците. Това показва, че са достигнати крайните фази на синтез. Най-силно изразено е свиването при образци от състава с Bi_2O_3 , който при температура 819°C преминава в течна фаза и спомага за по-добро синтезиране. За другите три състава, при които като легиращ компонент е H_3BO_3 се вижда, че най-голямо свиване се получава при състава със съдържание 3,71 wt % H_3BO_3 . Най-слабо свиване се получава при съдържание 5,56 wt% H_3BO_3 .

Зависимост на плътността на материала от температурата на синтез

Плътността на изследваните материали се определя от геометричните размери на опитните образци и теглото им. На фиг.2. е дадена зависимостта на плътността от температурата на синтез.



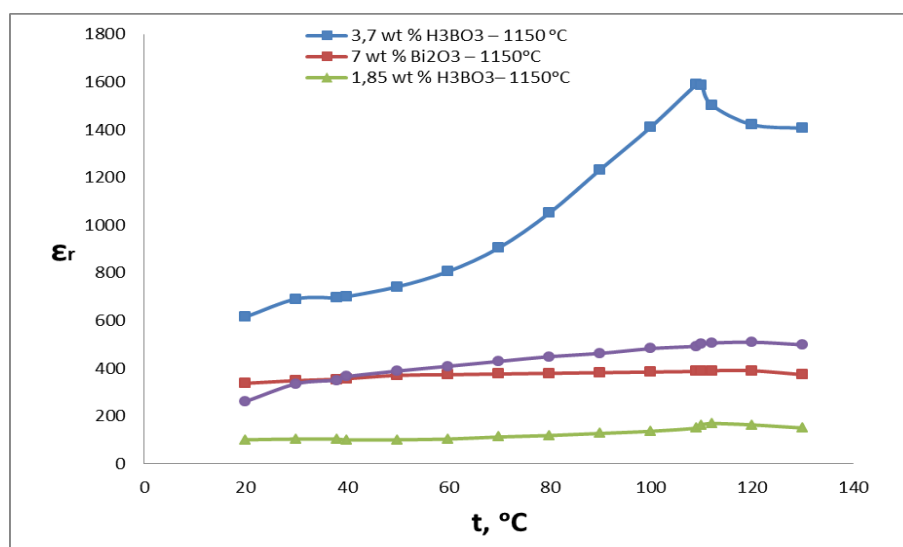
Фиг.2. Зависимост на плътността от температурата на синтез.

Зависимост на относителната диелектрична проникваемост от температурата

Температурната зависимост на относителната диелектрична проникваемост за образците от четирите състава, синтезирани при температура 1150°C са представени на фиг.3, а в табл.1 - стойностите на относителната диелектрична проникваемост в точката на Кюри.

Таблица 1

Състав	3,7% H ₃ BO ₃	7wt% Bi ₂ O ₃	1,85wt% H ₃ BO ₃	5,6wt% H ₃ BO ₃
Точка на Кюри	109	120	38	112
ϵ_r	1589	420,35	104,06	169,47



Фиг.3. Зависимост на относителната диелектрична проникваемост от температурата за образци синтезирани при 1150°C.

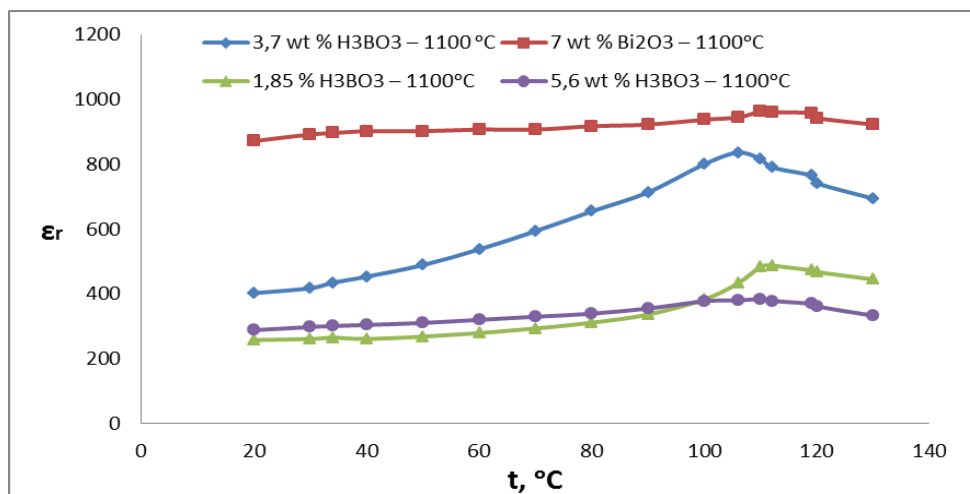
Изводи:

- най-голяма стойност на относителната диелектрична проникваемост се получава при образците със съдържание на 3,7% H₃BO₃;
- при същия състав се наблюдава силно изразен фазов преход;
- относителната диелектрична проникваемост в точката на Кюри достига 1600;

В табл.2 са представени стойностите на относителната диелектрична проникваемост при точката на Кюри. На фиг.4. са дадени температурните зависимости на относителната диелектрична проникваемост за образци синтезирани при температура 1100°C.

Таблица 2

Състав	3,7% H ₃ BO ₃	7wt% Bi ₂ O ₃	1,85wt% H ₃ BO ₃	5,6wt% H ₃ BO ₃
Точка на Кюри	106	117	34	110
ϵ_r	836,3	958,12	265,32	487,63



Фиг.4. Зависимост на относителната диелектрична проникваемост от температурата за образци синтезирани при 1100°C .

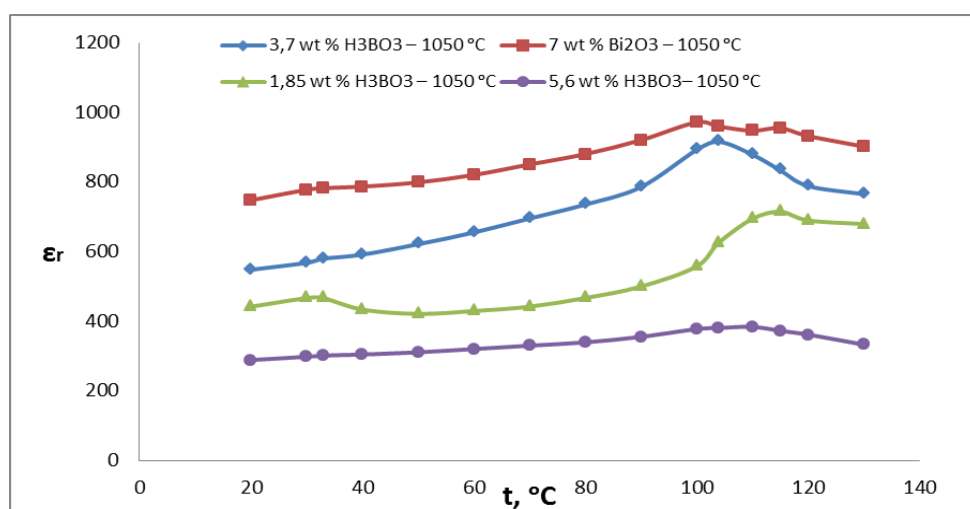
Изводи:

- най-големи стойности за относителната диелектрична проникваемост се получават за образци от състав със съдържание на 7wt% Bi_2O_3 ;
- за образци със съдържание на легиращ елемент 3,7% H_3BO_3 и 1,85wt% H_3BO_3 се наблюдава силно изразен фазов преход;

В табл.3 и фиг.5 са представени стойностите на относителната диелектрична проникваемост в точката на Кюри за образци, синтезирани при температура 1050°C.

Таблица 3

Състав	3,7% H_3BO_3	7wt% Bi_2O_3	1,85wt% H_3BO_3	5,6wt% H_3BO_3
Точка на Кюри	104	103	33 115	120
ϵ_r	915,9	971,8	466,9 714,8	509,9



Фиг.5. Зависимост на относителната диелектрична проникваемост за образци синтезирани при температура 1050°C.

Изводи:

- най-големи стойности за относителната диелектрична проникваемост се получават за образци съдържание на 7wt% Bi_2O_3 ;
- при образци със съдържание на 1,85wt% H_3BO_3 се получават две стойности за точката на Кюри;
- най-силно изразен фазов преход се наблюдава при образци от състав със съдържание на 3,7% H_3BO_3 и 1,85wt% H_3BO_3 ;

Зависимост на относителната диелектрична проникваемост от интензитета на електрическото поле

Коефициентът на ефективна нелинейност се пресмята като отношение на максималната към началната стойност на относителната диелектрична проникваемост.

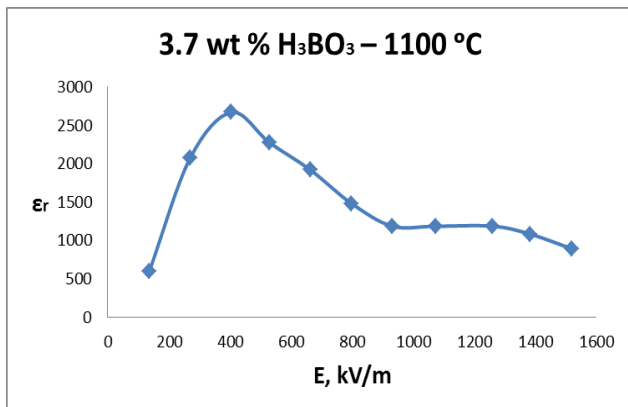
$$K_{ef} = \frac{\epsilon_{r \max}}{\epsilon_{rx}} \quad (2)$$

В табл.4 са показани стойностите за ефективната нелинейност за образци от изследваните състави.

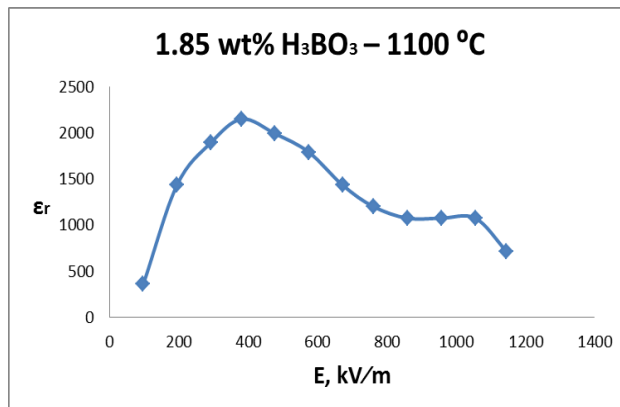
Таблица 4

Образец	Начална стойност на относителната диелектрична проникваемост, ϵ_{rx}	Максимална стойност на относителната диелектрична проникваемост, $\epsilon_{r \max}$	Коефициент на ефективна нелинейност, K_{ef}
3,7% H_3BO_3 -1100°C	593,1	2668,6	4,5
7wt% Bi_2O_3 -1150°C	557,9	1115,9	2
1,85wt% H_3BO_3 -1150°C	594,6	1486,6	2,5
1,85wt% H_3BO_3 - 1100°C	358,5	2151,1	6
1,85wt% H_3BO_3 - 1050°C	2066	3305,6	1,6
5,6wt% H_3BO_3 1150°C	670,9	1341,7	2
5,6wt% H_3BO_3 1100°C	400,9	1603,5	4

На фиг.6 и фиг.7 са дадени зависимостите на относителната диелектрична проникваемост от интензитета на електрическото поле за образците съответно със съдържание на 3,7% H_3BO_3 -1100°C и 1,85% H_3BO_3 -1100°C, за които се получават най-високи стойности на коефициента на нелинейност.



Фиг.6.



Фиг.7.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследвано е влиянието на различни легиращи добавки върху свойствата на синтезиран BaTiO_3 . Получени са зависимостите на плътността и относителното свиване, както и зависимостите на относителната диелектрична проницаемост от температурата и интензитета на електрическото поле. Определена е точката на Кюри и коефициента на нелинейност за изследваните състави. Основните резултати от настоящите изследвания могат да се обобщят:

- при образците и от четирите състава се наблюдава увеличаване на плътността и относителното свиване с увеличаване температурата на синтез. Най-силно изразени са при образци от състав със съдържание на 7wt% V_2O_5 ;
- най-големи стойности в точката на Кюри се наблюдават при образците от състав със съдържание на 3,7% H_3BO_3 , при температура на синтез 1150°C;
- най-голям коефициент на нелинейност се получава за образци от състав със съдържание на легираща добавка от 1,85wt% H_3BO_3 , при температура на синтез 1100°C;

От изследваните керамични материали на основата на синтезиран бариев титанат легирани с H_3BO_3 и V_2O_5 най-подходящ за нелинейни кондензатори е съставът с 1,85wt H_3BO_3 синтезиран при 1100°C.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://www.gizmag.com>
- [2] <http://letsmakerobots.com>
- [3] <http://www.atct.co.il>
- [4] Свирская С.Н., Пьезокерамическое материаловедение, Ростов-на-Дону, 2009, 83 с.
- [5] Maria J. P., Ayguavives F.T., Kingon A. I., A. Tombak, Mortazawi A., Stauff G., Ragaglia C., Roeder J., Brand M, (Ba,Sr)TiO₃ capacitors for tunable high frequency applications", Material Research Society Meeting, 2000
- [6] Sanxiong Xiao, Xianping Yan, Preparation and characterization of Si-doped barium titanate nanopowders and ceramics, Microelectronic Engineering 86, 2009, стр. 387–391
- [7] Mouraa F., Simoes A.Z., Stojanovic B.D., Zaghete M.A., Longo E., Varela J.A, Dielectric and ferroelectric characteristics of barium zirconate titanate ceramics prepared from mixed oxide method, Journal of Alloys and Compounds 462, 2008, стр. 129–134
- [8] Mančić D., Paunović V., Vijatović M., Stojanović B., Živković L, Electrical Characterization and Impedance Response of Lanthanum Doped Barium Titanate Ceramics, Science of Sintering 40, 2008, стр. 283-294
- [9] Xiang Wang., Min Gu., Bin Yang., Shining Zhu., Wenwu Cao, Hall effect and dielectric properties of Mn-doped barium titanate, Microelectronic Engineering 66, 2003, cp. 855–859

[10] Vijatovic M.M., Petrovic M., Bobic J.D., Banys J., Stojanovic B.D, Electrical properties of antimony doped barium titanate ceramics, *Materials Research Bulletin* 48, 2013, стр. 3766–3772

[11] Wei Cui., Chunlium Fu., Zebin Lin., Xiaelolng Deng, vanadium doping effects on microstructure and dielectric properties of barium titanate ceramics, *Ceramic International* 37, 2011, стр. 3644-3650

[12] Li Y.X., Yao X., Wang X.S., Hao Y.B, Studies of dielectric properties rare earth (Dy, Tb, Eu) doped barium titanate sintered in pure nitrogen, *Ceramic International*, 2011, 2150-2156

[13] Yuqing Y., Min D., Shumen Zh., Zhenhin Pei, Effects of BiNbO_4 on the microstructure and dielectric properties of BaTiO_3 based ceramics, *Journal Material Science Electronics* 20, 2009, 157-1621

Автори: Валентин Колев, доц. д-р, кат. ”Електроенергетика”, Електротехнически Факултет, Технически Университет-София, E-mail adress: vkolev@tu-sofia.bg; Анка Жеглова, доц. д-р, кат. „Основи на електротехниката и електроенергетиката”, ТУ-Габрово; Ивайло Лазаров, асистент, кат. „Основи на електротехниката и електроенергетиката”, ТУ-Габрово

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Антоанета Тодорова

АНАЛИЗ НА ПРЕДЕЛНИТЕ ГОДИШНИ ТЕХНОЛОГИЧНИ РАЗХОДИ ЗА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ И СНАБДЯВАНЕ НА ЕВН БЪЛГАРИЯ АД

Валентин Колев, Цветелина Богоева

Резюме: Целта на доклада е да се направи анализ на на технологичните разходи като съвкупност от процеси и явления, както и факторите, които обуславят техния размер за разпределение и снабдяване в „ЕВН Мрежи“ АД и съседни държави и държави с аналогичен социален и икономически статус. В доклада се разглежда развитието на технологичните разходи по ретроспективни данни за „ЕВН Мрежи“ АД.

Ключови думи: технологични разходи, електрическа мощност и енергия.

ANALYSIS OF THE MAXIMAL ANNUAL LOSSES AT DISTRIBUTION LEVEL OF EVN BULGARIA AD

Valentin Kolev, Tsvetelina Bogoeva

Abstract: The purpose of this report is to analyze the the technological losses as a set of processes and phenomena and factors that determine their amount distribution and supply in "EVN networks" JSC and neighboring countries and countries with similar social and economic status. The report examines the development of technological losses of retrospective data "EVN networks" JSC.

Keywords: technology losses, electric power and energy

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Преносът и разпределението на електрическата енергия (ЕЕ) предизвиква технологични разходи, които се покриват с увеличение стойността на електрическата енергията за крайния клиент (потребител). Фактически това е заплащане за транспортиране на стоката до крайния потребител. От друга страна клиентът е свързан с точно определена дистрибуционна компания, за която размерът на тези загуби е определен и не подлежи на договаряне. Интересите на страните в случая се защитават от регулатора (ДКЕВР)[1], който определя размера на тези технологични разходи свързвайки ги с налични статистическа информация и отчетни данни, а така също и по известни в литературата модели.

От тук е видно, че за дистрибутивните компании от съществено значение е определянето на обоснован размер на технологичните разходи (ТР). За решение на задачата е необходимо реално структуриране на отчетните загуби при това на база на изчисления там, където това е възможно.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

Структурата на технологичните разходи на дистрибуционните дружества може да се представи с различна степен на детайлизиране. Възможно е разделяне на общите технологични разходи в различни групи и елементи (електропроводи, трансформатори и др.) от електрическата мрежа, разходи с различна динамика на промяна (променливи и условно-постоянни и др). За нормиране и обособка на технологичните разходи одобрявани от ДКЕВР е необходимо използването на окрупнена структура, при която разделението да е на база физическа природа и специфика на методите за определяне. По този начин използваните към момента статистически методи биха били конкретизирани и ще доведат до повишаване ефективността на действие на дистрибуционното дружество.

В съответствие с това фактическите загуби може да се разделят на четири основни групи:

- Технологични разходи на електроенергия обусловени от физическите процеси свързани с разпределението на електроенергията.
- Разходи за собствени нужди на компаниите, които са свързани с използване на енергията за дейности присъщи за функционирането на звената. Те могат да бъдат точно определени чрез измерване .
- Разходи свързани с измерването на енергията. Те се получават на база данни за характеристиките на измервателните средства и режимите, в които работят.
- Търговски разходи, които са свързани основно с кражби, несъответствия при отчитането и забавени плащания, а така също и до други причини отнасящи се до контрола на компанията за консумираната електроенергия. Обикновено те нямат точно математическо определение и не могат да се разчетат самостоятелно. Най-често стойността им се определя като разлика между реализираните и разчетените загуби по предходните три компонента.

Към настоящия момент за определяне на технологичните разходи на преносното и разпределителните предприятия ДКЕВР прилага **„МЕТОДИКА за определяне на допустимите размери на ТР на ЕЕ при пренос и разпределение на ЕЕ”** (приета по т.1 от решение №П-6/04.11.2004 г. на ДКЕВР) и **„УКАЗАНИЯ на ДКЕВР за образуване на цените за пренос на ЕЕ през електроразпределителните мрежи при регулиране чрез метода „горна граница на приходи” за втория регулаторен период”** (приети с решение №37/18.02.2004 г. на ДКЕВР).

Това дава възможност ТР да бъдат определени административно, което може да доведе до необосновано намаляване на приходите на електроразпределителните дружества. По-долу е направен анализ на технологичните разходи за разпределение и снабдяване в съседни държави и държави с аналогичен социален и икономически статус.

В табл.1 са систематизирани данни за производството, преноса, разпределението и технологичните разходи на съседни държави и държави с аналогичен социален и икономически статус.

Таблица 1

	2011, GWh	Б-я	Мак.	Сърбия	Рум.	Турция	Гърция	Алб.	Б.&Херц.	Ч. гора	Украйна	Полша	Чехия	Унгария
1	Брутно производство	50 797	6 876	38 600	62 217	229 393	59 436	4 159	15 280	2 656	194 947	163 548	87 454	35 983
2	Внос	1 449	2 676	6 701	3 410	4 556	7 180	3 262	4 171	1 993	32	6 780	10 457	14 664
3	Износ	12 110	0	6 979	5 316	3 645	3 948	0	5 660	431	6 322	12 022	27 501	8 021
4	Брутна доставена енергия	40 136	9 552	38 322	60 311	230 304	62 668	7 421	13 791	4 218	188 657	158 306	70 410	42 626
5	Собствени нужди + помпи*	7 294	670	4 487	10 481	14 159	8 054	451	1 454	153	27 596	25 630	9 352	4 301
6	Загуби	4 396	1 387	5 844	7 141	32 369	2 820	1 045	1 549	651	21 261	10 638	4 405	3 784
7	Консумация	28 421	7 495	27 991	42 714	183 775	51 794	5 657	10 788	3 414	139 800	121 940	56 653	34 540
8	Индустрия	8 422	2 505	7 473	21 083	85 656	14 640	1 052	4 215	2 162	62 890	44 573	23 119	9 878
9	Транспорт	367	19	529	1 424	669	205	0	139	13	9 887	3 259	2 251	1 117
10	Битови потребители	10 912	3 345	14 665	11 577	44 271	17 628	2 712	4 547	1 200	38 460	28 258	14 200	11 312
11	Услуги	8 437	1 607	5 003	7 869	48 032	16 818	1 298	0	20	21 175	44 255	13 820	11 466
12	Земеделие	279	19	321	761	4 972	2 503	121	94	19	3 548	1 595	1 043	760
13	Риболов	4	0	0	0	175	0	0	0	0	35	0	10	7
14	Други	0	0	0	0	0	0	474	1 493	0	3 805	0	2 210	0
15	%, т.6/т.1	8,65%	20,17%	15,14%	11,48%	14,11%	4,74%	25,13%	10,14%	24,51%	10,91%	6,50%	5,04%	10,52%
16	%, т.6/(т.4 - т.5)	13,39%	15,62%	17,27%	14,33%	14,98%	5,16%	14,99%	12,56%	16,01%	13,20%	8,02%	7,21%	9,87%

* Energy industry own use also includes own use by plants and electricity used for pumped storage

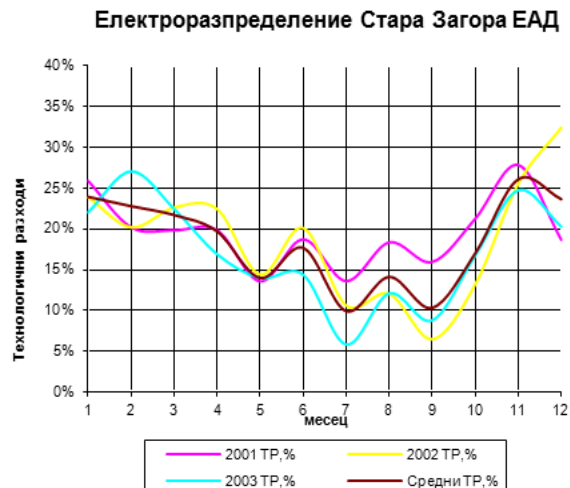
Изводи:

- Анализът на данните показани в Таблица 1 показва, че всички съседни държави на РБългария, които са със сходен социален статус и стандарт (с изключение на Гърция) реализират по-големи ТР при производството, преноса и разпределението на електрическата енергия.
- Държавите с по-висок стандарт и брутен вътрешен продукт реализират по-ниски технологични разходи. Обяснението за това е по-високите доходи и покупателна способност на населението.

За да се илюстрира по-нататък стремежа на електроразпределителното дружество за намаляване на технологичните разходи на фиг.1 и фиг.2 е показано развитието им по месеци и години за ЕР Пливдив и Ст.Загора преди приватизацията на електроразпределителната мрежа в РБългария.



Фиг.1.



Фиг.2.

Диаграмите показват висока корелация между потреблението и отчетените технологични разходи, с което се потвърждава закономерността на широкия диапазон на изменение на последните в рамките на годината.

От приложените графици ясно се вижда, че съществуват месеци, през които технологичните загуби надхвърлят значително утвърдените пределните годишни технологичните разходи (ПГТР) на дружествата.

Технологичните разходи в мрежите зависят от квадрата на потоците на мощност. Товарите на потреблението се изменят в широки граници, което определя значителен диапазон на изменение на потоците на мощност и от там и на квадратичните разлики в технологичните разходи в дневен, месечен и сезонен разрез.

В табл.2 са показани данните от количествата ЕЕ за пренос и разпределение и ТР в абсолютни и относителни единици след приватизацията на електроразпределителното дружество, а на фиг.3 и фиг.4 същите резултати са показани в графичен вид.

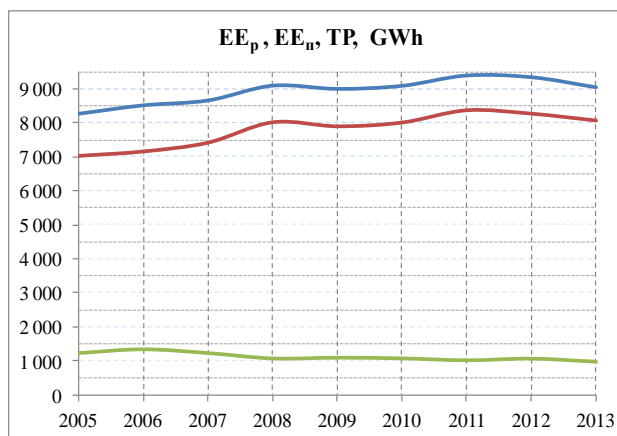
Таблица 2

година	ЕЕ _р , GWh	ЕЕ _п , GWh	ТР, GWh	ТР %
2005	8 258	7 017	1 241	15,03%
2006	8 503	7 147	1 356	15,95%
2007	8 647	7 406	1 240	14,35%
2008	9 079	8 004	1 076	11,85%
2009	8 985	7 886	1 099	12,23%
2010	9 074	7 997	1 077	11,87%
2011	9 376	8 357	1 019	10,87%
2012	9 326	8 257	1 069	11,46%
2013	9 031	8 056	975	10,80%

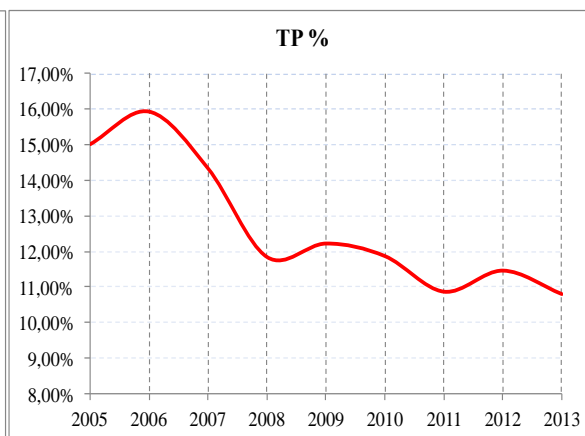
От показаните ретроспективни данни се вижда, че е на лице тенденция за увеличаване на пренесената ел.енергия през разпределителната ел. мрежа на ЕВН. В табл.3 са показани изчислените количества ел.енергия за разпределение и технологичните разходи при условие, че за периода 2005 – 2013 год. не са възприети никакви технически и организационни мероприятия за намаляване на технологичните разходи и е възприет базов процент на ТР за 2005 г. Иначе казано така биха изглеждали разглежданите параметри при състоянието на разпределителната ел.мрежа към 2005 г. Изчисленията са направени като се използва следната формула за ТР:

$$TP = \left(\frac{EE_{п}^i}{EE_{п}^{2005}} \right)^2 \cdot 1320, GWh$$

Технологичните разходи за базовата 2005 г. (числото 1320) са определени като 16% от пренесената електрическа енергия за 2005 г. В табл.3 са показани реализираните количества ЕЕ за разпределение, пренесената ЕЕ и ТР.



Фиг.3.

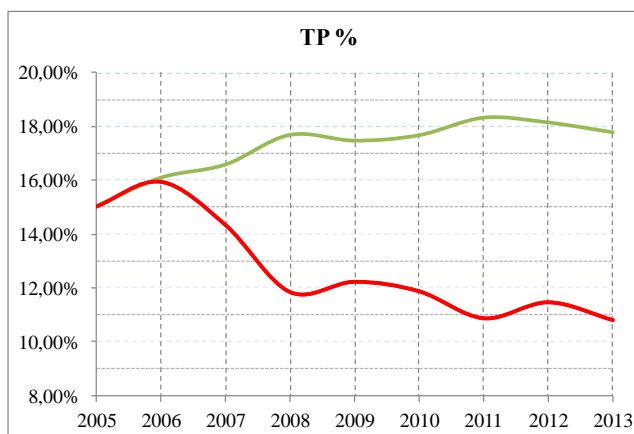


Фиг.4.

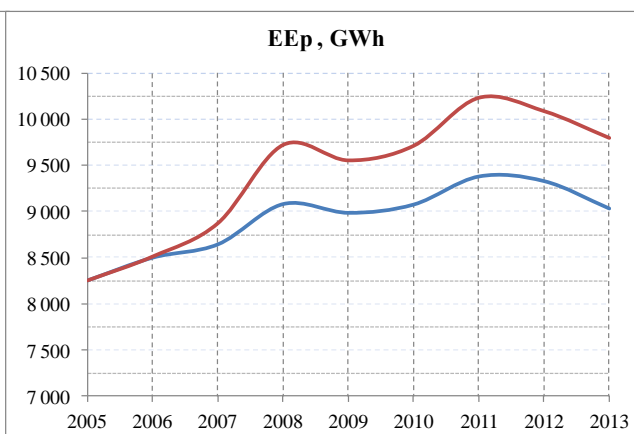
Таблица 3

Година	EE _p , GWh	EE _п , GWh	TP, GWh	TP %
2005	8 258	7 017	1 241	15,03%
2006	8 517	7 147	1 370	16,08%
2007	8 877	7 406	1 471	16,57%
2008	9 721	8 004	1 718	17,67%
2009	9 554	7 886	1 667	17,45%
2010	9 711	7 997	1 714	17,65%
2011	10 229	8 357	1 872	18,30%
2012	10 085	8 257	1 828	18,13%
2013	9 796	8 056	1 740	17,76%

На фиг.5 е показано изменението на TP по години (след приватизацията) като графиката с по-високи стойности съответства на данните в табл.3, а тази с действителните стойности - на табл.2. На фиг.6 е показано изменението на електрическата енергия за разпределения, като като графиката с по-високите стойности показва количеството EE необходимо за разпределение при условие, че за периода 2005-20013 г. не бяха взимани никакви мерки за намаляване на технологичните разходи. За отбелязване е, че количеството пренесена EE при това сравнение е едно и също (табл.2 и табл.3).



Фиг.5. TP %



Фиг.6. EE за разпределение

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1.1. За разглеждания период ЕЕ за разпределение се е увеличила с 13%, а пренесената с 14%.
- 1.2. Електрическата енергия за покриване на технологичните разходи е намалела с 25% от 1250 GWh на 1000 GWh.
- 1.3. Процентът на ТР е намалял от 16% на 11%. Това е в резултат на въвеждане на технически и организационни мероприятия от дружеството.
- 1.4. В табл.3 и фиг.5 и фиг.6 са показани размерът на ТР и ЕЕ за разпределение в случай, че през изследвания период не са взимани никакви мерки за подобряване на състоянието на ел. мрежа.
- 1.5. В резултат на техническите и организационни мероприятия въведени от ЕВН са намалени ТР с около 700 GWh, което представлява намаление на емисията на CO₂ с над 300 000 т/год.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) ДКВЕР. Методика за определяне на допустимите размери на технологичните разходи на електрическа енергия при пренос и разпределение на електрическата енергия.
- 2) Кирчев В., Янев К., Георгиев М, Електрически мрежи средно и ниско напрежение, С, Летера, 2006
- 3) Железко Ю. С., Артемьев А.В., Савченко О. В., Разчет, анализ и нормирование потери электроэнергии в эл.сетях, М, ЭНАС, 2007
- 4) Разкулов Р. Ф., Смирнов А. С., Недоучет электроэнергии вызванный погрешностями трансформаторов тока 0,66-20кВ, М, ЭНАС 2003
- 5) Железко Ю. С., Недоучет электроэнергии, допустимые небалансы их отражение в нормативных потерь, Электрические станции 2003, 11

Автори: Валентин Генов Колев, доц. д-р в катедра „Електроенергетика” (ЕЕ), Електротехнически Факултет, Технически Университет-София, E-mail adress: vkolev@tu-sofia.bg; маг. инж. Цветелина Богоева, гл. асистент, катедра „ЕСЕ-ОЕТ”, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail address: tbogoeva@tu-sofia.bg

Постъпила на 15. 12. 2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Светлана Цветкова

РЕЗУЛТАТИ ОТ ВЪВЕЖДАНЕТО НА БАЛАНСИРАЩИЯ ПАЗАР

Валентин Колев

Резюме: В доклада е направено кратко описание на пазарния модел, който функционира в България от гледна точка на балансиращия механизъм. Целта на доклада е да се направи анализ на работата на въведения от 01.06.2014 г. балансиращ пазар на електрическа енергия в България.

Ключови думи: балансираща енергия, балансиращ пазар, енергия зе излишък и недостиг.

THE RESULTS OF IMPLEMENTING BALANCED MARKET

Valentin Kolev

Abstract: This report is a brief description of the market model, which operates in Bulgaria in terms of the balancing mechanism. The purpose of this report is to analyze the performance of entered on 01/06/2014 balancing electricity market in Bulgaria..

Keywords: balancing power, balancing market, electricity surplus and deficit.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Съгласно принципите на енергийния пазар потребителите се стремят да сключват договори с графици за доставка на количества енергия, максимално близки до очакваното им потребление, а производителите да произвеждат количества равни на договорените, съгласно графици за доставка [1,2,3]. Сумата от количествата енергия в графици по всички договори за покупка на енергия трябва да бъде равна на прогнозираното общо потребление за този период.

Балансираща енергия се използва от оператора на електроенергийната система (ОЕЕС) за осъществяване на баланса между производство и потребление на електрическа енергия в ЕЕС.

Източници на балансираща енергия са:

- a. обекти на производители, чиято разполагаемост е изцяло освободена от Държавна комисия за енергийно и водно (ДКЕР) за сключване на сделки по свободно договорени цени;
- b. обекти на привилегироваани потребители;
- c. електрически централи на производители, чиято разполагаемост е частично или изцяло изкупена от обществения доставчик;
- d. електрически централи, собственост на обществения доставчик.

Търговските участници по т. а и б осигуряват балансираща енергия чрез предложения и заявки на свободно определени от тях цени за всеки период на сетълмент.

Балансиращата енергия, чийто източник са електрическите централи по т. с и d, се предоставя от обществения доставчик на цени, съгласно Наредбата за търговия с електрическа енергия.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

Развитието на електроенергийния пазар в България по тодини е както следва:

Вътрешен пазар

- 2004** - Стартиране на процеса по смяна на доставчика. Въвеждане на пазар на двустранни договори и балансиращ пазар, работещ при временни правила
- 2009** - Заместване на седмичното известяване на графици за доставка с дневно известяване, в работни дни
- 2012** - Въвеждане на новата пазарна организация с обединение на участниците в балансиращи групи
- 2012** - Въвеждане на дневно известяване, включително в празнични и почивни дни
- 2014** - **Въвеждане на балансиращия пазар от 01 юни**

Външен пазар

- 2010** - Въвеждане на двустранни съгласувани търгове на българо-румънска граница
- 2011** - Въвеждане на двустранни съгласувани търгове на българо-гръцка граница
- 2013** - Въвеждане двустранни съгласувани търгове на българо-сръбска граница

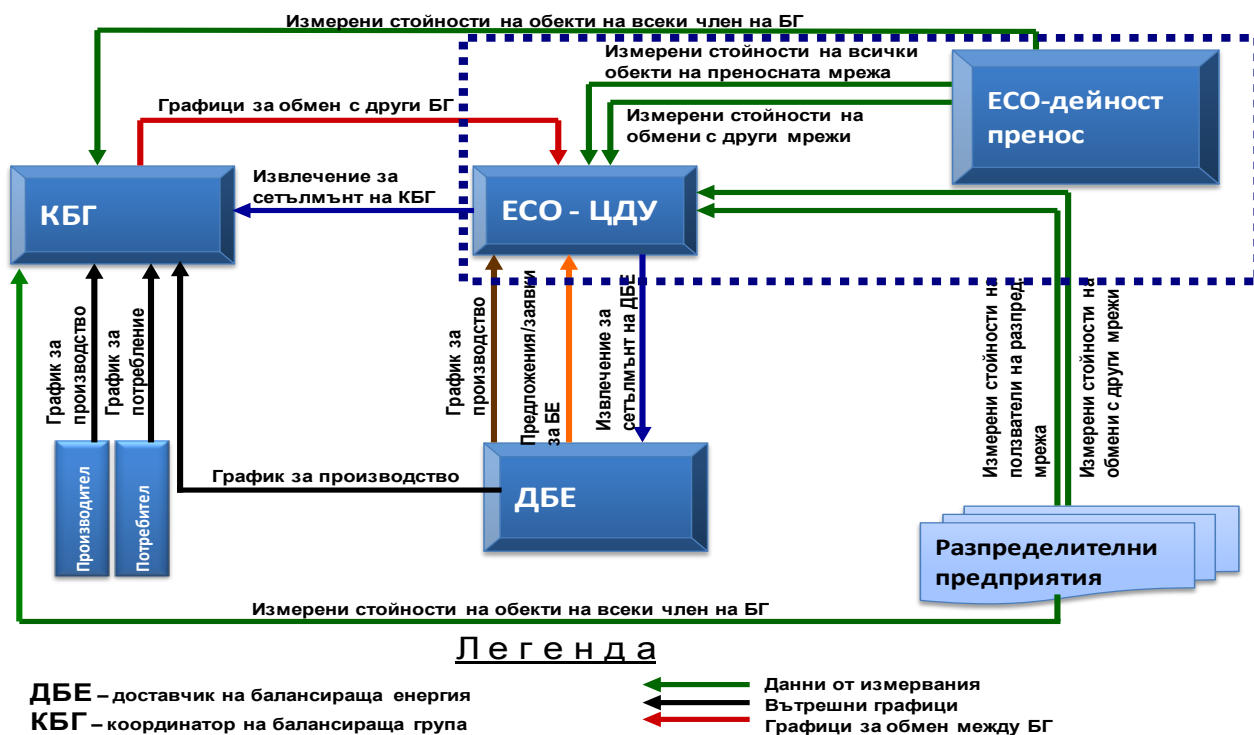
Възприетият пазарен модел в страната е модел на двустранни договори между търговските участници (производители, търговци и потребители на електрическа енергия) и пазар на балансираща енергия. Пазарът на електрическа енергия в страната се организира и администрира от Електроенергийния системен оператор (ЕСО). ЕСО балансира електроенергийната система по технически и икономически критерии на базата на постъпили предложения и заявки за балансиращия пазар.

Основни принципни правила за работа на балансиращия пазар са:

- Въвеждане на почасови графици по всички сделки, независимо дали се сключват по регулирани или свободно-договорени цени;
- Известяване на графиците на дневна база, в деня D-1;
- Въвеждане на специални балансиращи групи и нов тип участник - доставчик на балансираща енергия;
- Въвеждане на пазарен механизъм в работата на пазара на балансираща енергия – отделяне на енергията, която Операторът използва за регулиране, от енергията, която производителят предлага на пазара – регулиран и/или свободен;
- Въвеждане на отделен сетълмент за Координаторите на балансиращи групи и Доставчиците на балансираща енергия;

- Създаване на специална балансираща група на производители от ВИ и ВЕКП.

На фиг.1 е илюстриран действащият пазарен модел и взаимоотношенията между участниците (фиг.2).



Фиг.1.

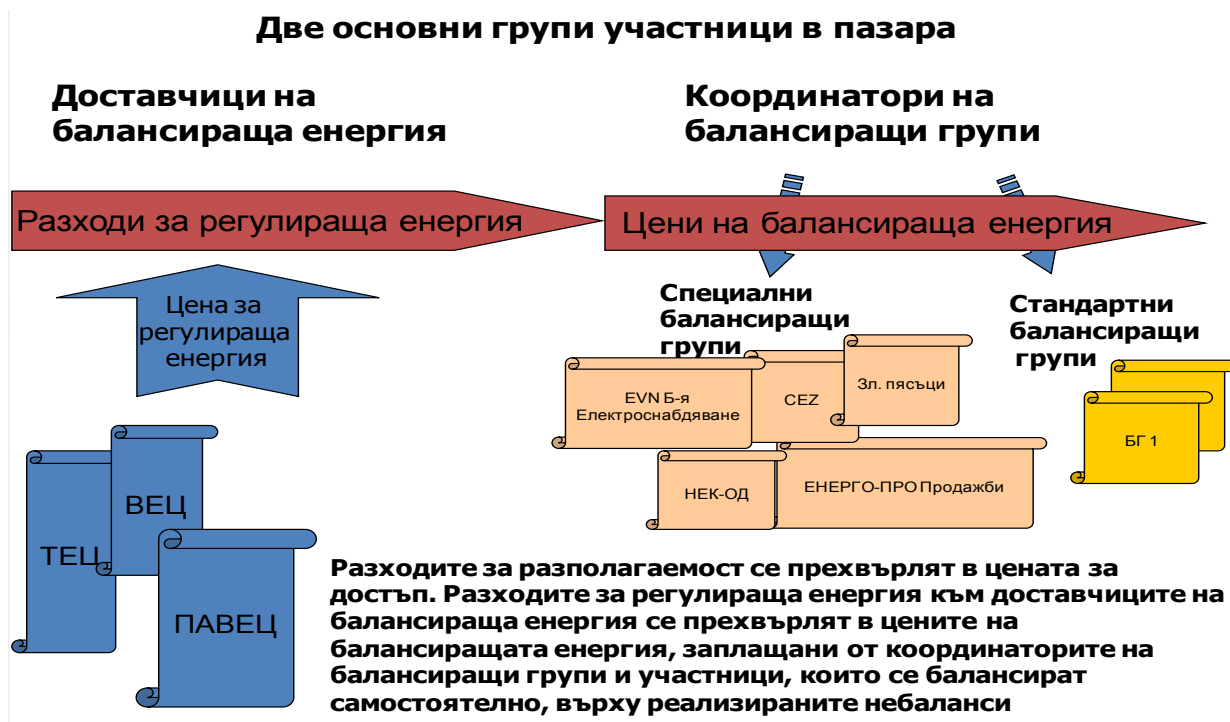
От 01.06.2014 г. стартира балансиращия пазар за електроснабдителните дружества (специални балансиращи и групи) и производителите на електрическа енергия от възобновяеми източници. На страницата на ЕСО вече е достъпна информация за постигнатите на балансиращия пазар цени за недостиг и излишък през първите три месеца от старта на балансиращия пазар. „Черният вторник“ на българския балансиращ пазар се оказва 22 юли 2014 г. Между 23.00 и 24.00 часа на този ден дисбалансът между цени за недостиг и цени за излишък е най-фрапиращ и цените, по които НЕК е продавала недостиг, са достигнали 1873.41 лв./МВтч, докато цените, по които е изкупувала излишък, са били 13.92 лв./МВтч.

Допълнителни разходи за пазарните участници възникват тогава, когато заявените от тях почасови графици за производство/потребление се различават от фактическото им производство/потребление. Размерът на тези допълнителни разходи зависи от два основни фактора:

- Точност на прогнозирането;
- Цени на балансиращата енергия.

На балансиращия пазар енергията се купува и продава съответно по цена за недостиг и цена за излишък. За потребител на електрическа енергия цената за недостиг се отнася за случаите, когато фактическото потребление е по-високо от заявеното, а цената за излишък - когато фактическото потребление е по-ниско

от заявеното. Отклоненията се компенсират с енергия, закупувана, съответно продавана на балансиращия пазар. На фиг.2 е илюстриран балансиращият механизъм към настоящият момент.



Фиг.2.

През 2013 г. цените за недостиг и за излишък на балансиращия пазар се характеризират със следното:

- почти константни, което се дължи на липса на участници – съгласно Годишен доклад на ДКЕВР за Европейската комисия (от юли 2013 г.), „през 2012 г. общественият доставчик „НЕК“ ЕАД остава почти единственият доставчик на електрическа енергия на балансиращия пазар. Независимите производители все още не са достатъчно икономически заинтересовани за участие на балансиращия пазар на електрическа енергия“;
- силно санкциониращи за потребителите – цената за закупуване на енергия при недостиг в размер на 186,31 лв./МВтч (към 24.11.2013) е 6,5 пъти по-висока от цената, по която се изкупуват излишъците, а именно – 28,80 лв./МВтч (към същата дата).

Ситуацията не е принципно различна и в предходните години като след 2010 г. ножицата между цена за недостиг и цена за излишък прогресивно се отваря.

Финансово въздействие

За да илюстрираме финансовото въздействие от участието на балансиращ пазар върху разходите за енергия, ще вземем за пример установената до момента практика, а именно участие на пазара на произволен потребител, който:

- е заявил потребление от 100 МВтч;
- е договорил с търговец/производител цена в размер на 80 лв./МВтч (само енергия, без мрежови услуги);

- има фактическо потребление по часове, което е с отклонения от 10 МВтч в плюс и с 10 МВтч в минус спрямо заявката;
- в резултат на допуснатите отклонения от заявката, ще трябва да продаде излишната енергия по 28,80 лв./МВтч и да закупи недостигащата му енергия по 186,31 лв./МВтч на балансиращия пазар.

Като рекапитулация, фактическата цена, която ще трябва да заплати този примерен потребител за 1 МВтч в резултат на отклонението „заявено-фактическо“ потребление се повишава от 80 на 95,75 лв./МВтч. Това представлява 19,7% повишение на цената за единица енергия, респективно – на енергийните разходи на потребителя с 1575 лв. за примерната сделка.

Горният пример показва колко е висока чувствителността на нивото на енергийните разходи към отклоненията между заявено и фактическо потребление, тоест – колко важна е точността на прогнозирането на потреблението. От тази гледна точка, участието в балансираща група има положително въздействие върху управлението на небалансите (отклоненията), тъй като оптимизира разходите за тях.

В табл.1 са систематизирани резултатите от работата на балансиращия пазар за първите три месеца след стартирането му на 01.06.2014 г.

Таблица 1

Месец	$C_{min}^{(+)}$	$C_{max}^{(+)}$	$C_{avg}^{(+)}$	$C_{min}^{(-)}$	$C_{max}^{(-)}$	$C_{avg}^{(-)}$
06.2014 г.	- 37,42	35,49	14.72	98,49	790,22	190,15
07.2014 г.	- 51,02	59,00	6.59	19,14	1873,41	208,75
08.2014 г.	- 25,14	110,92	10.54	60,94	1721,35	228,77

където: $C_{min}^{(+)}$, $C_{max}^{(+)}$, $C_{avg}^{(+)}$ - мин., макс. и ср. цена за излишък, [лв./MWh];

$C_{min}^{(-)}$, $C_{max}^{(-)}$, $C_{avg}^{(-)}$ - мин., макс. и ср. цена за недостиг, [лв./MWh];

От показаните резултати могат да се направят следните изводи:

- минималната цена за излишък $C_{min}^{(+)}$ получава отрицателна стойност;
- максималната цена за недостиг приема стойности над 1 800 лв. /MWh.

За преодоляване на тези ценови дисбаланси, ЕСО предлага нова формула за определяне на служебните цени на база "средноаритметична стойност от цените за всички периоди на сетълмент през месец M-1".

В табл.2 са показани търгуваните количества балансираща енергия по месеци за 2014 г.

Таблица 2

Търгувана енергия 2014, MWh		
	до потребители	от производители
1,2014	1 675 062	900 042
2,2014	1 426 357	853 511
3,2014	1 331 085	888 720
4,2014	1 487 970	860 432
5,2014	1 514 651	893 111
Търгувана енергия по графици за обмен, MWh		
6,2014	17 370 000	
7,2014	20 020 000	

В отчета на АЕЦ Козлодуй се посочва, че стартът на балансиращия пазар е белязан с редица неуредици, включително неколкотратни преизчисления и драстични разлики в цените на излишък и недостиг.

От участието си на балансиращия пазар в рамките на един месец АЕЦ Козлодуй ЕАД е реализирала загуба в размер на 167 хил.лв. Средната цена, по която АЕЦ Козлодуй е продавала излишък, е била около 14,70 лв/МВтч, а цената, на която е купувала недостиг надхвърля 188,95 лв/МВтч.

В табл.3 са показани стойностите на енергийния излишък ($E^{(+)}$) и недостиг ($E^{(-)}$) за първите осем месеца на 2014 г.

Таблица 3

	1	2	3	4	5	6	7	8
$E^{(+)}$	43 492	42 741	52 464	27 818	32 932	135 658	137 085	162 493
$E^{(-)}$	8 143	4 452	4 528	11 471	8 252	59 122	49 886	52 134

Промените в начина на управление след стартиране на балансиращия пазар се състоят в следното:

- Вместо централизирано прогнозиране на товара, дейността отива в крайните снабдители и клиенти;

- Определянето на състава на работещите генериращи мощности ще става от самите производители, съгласно задълженията по сключените договори – пускане/спиране на агрегатите е за сметка на производителя;
- Системният оператор има задължение да осигури разполагаемост за допълнителни услуги и студен резерв, които заплаща съгласно сключените договори и до размера на необходимия резерв;
- Операторът купува и продава балансираща енергия от доставчиците на балансираща енергия (блокове, участващи в регулирането на ЕЕС) за да балансира небалансите на координаторите на балансиращите групи;
- За да има право да получи цената за балансираща енергия, доставчикът на балансираща енергия трябва да има регистриран график, съобразен с техническите му възможности за работа в деня D, необходима енергийна обезпеченост, и да е балансиран със съответни продажби на пазара.

1. 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1.1.Търгуваните количества балансираща енергия се увеличават в порядък след въвеждането на балансиращия пазар.
- 1.2.Поради недопустимо висока служебна цена на балансиращата енергия се получават деформации във функционирането на пазара.
- 1.3.Все още продължава тенденцията на недопустимо висока разлика между цената за излишък и недостиг.
- 1.4.Очакваното приближаване на цената за излишък и недостиг след влизането на балансиращия пазар не се случи.
- 1.5.Необходимо е да се направи корекция във формулите за изчисление на цената на балансиращата енергия за недостиг и излишък.
- 1.6.Необходимо е да се минимизира печалбата на оператора от действието на балансиращия пазар до стойности, които покриват реално направените разходи.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) ДКВЕР. Правила за търговия с електрическата енергия.
- 2) www.tso.bg/Uploads/File/eto/bg/documents/balancing_mechanism.htm
- 3) www.emi-bg.com/index.php?search=1&tag=балансиращ+пазар

Автор: Валентин Генов Колев, доц. д-р в катедра „Електроенергетика” (ЕЕ),
Електротехнически Факултет, Технически Университет-София, E-mail adress:
vkolev@tu-sofia.bg

Постъпила на 15. 12. 2014 г. **Рецензент:** доц. д-р инж. Константин Малчев

ФИРМЕНА СТАНДАРТНА НОРМА (МЕТОДИКА) ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ПРЕДЕЛНИТЕ ГОДИШНИ ТЕХНОЛОГИЧНИ РАЗХОДИ ЗА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ В ЧЕЗ РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ АД

Валентин Колев

Резюме: Целта на доклада е да се определят пределните годишни норми на технологични разходи за разпределение на електрическа енергия за „ЧЕЗ Разпределение България“ АД с цел тяхното ефективно управление. Създава възможност за установяване и анализ на причините за тяхното ниво. Съдържа изводи за конкретни мерки за подобряване на пределните норми.

Ключови думи: технологични разходи, електрическа мощност и енергия.

COMPANY STANDARD NORM FOR THE ESTABLISHMENT OF MAXIMUM ANNUAL LOSSES AT DISTRIBUTION LEVEL OF ELECTRICITY IN CEZ DISTRIBUTION AD

Valentin Kolev

Abstract: The purpose of this report is to determine the maximum annual rates of technological costs for the distribution of electricity for "CEZ Bulgaria" with a view to their effective management. Creates the possibility to identify and analyze the reasons for their level. Contains conclusions about specific steps to improve boundary.

Keywords: technology costs, electric power and energy

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Фирмената стандартна норма представлява система от емпирични математични зависимости (потвърдени от практиката), чрез които се установява пределната годишна стойност на технологичните разходи за разпределение на електрическа енергия. Същата е разработена в съответствие с изискванията на Закона за корпоративното подоходно облагане (ЗКПО) и Закона за данък добавена стойност (ЗДДС).

Пределната годишна стойност на технологичните разходи (ПГСТР) за съответното електроразпределително дружество е: отношение на количеството електрическа енергия, представляващо годишен технологичен разход към количеството електрическа енергия, постъпило в разпределителната мрежа за същия период, изразено в проценти [1, 2].

Методиката отчита влиянието на обективни фактори върху размера на ПГСТР, като: структура на потребление, структура и параметри на електрическата мрежа, параметри на съоръженията и специфични характеристики на съответната електроразпределителна мрежа.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

ПГСТР включват две компоненти: Технически технологични разходи – $TR(\Delta E, MWh)$ и нетехнически(търговски) разходи – НТР

Нетехническите разходи представляват електрическа енергия, реално постъпила при консуматорите, но неотчетена от измервателните уреди, поради неправомерни присъединявания към електроразпределителната мрежа, въздействия върху правилната работа на средствата за търговско измерване, отклонение от първоначалните параметри на измервателните уреди и други. Тяхното определяне се базира на резултати от задълбочени изследвания в тази област, дългогодишния опит от поддържането на измервателните уреди, както и водената статистика за констатирани нарушения. От друга страна обаче за осчетоводяването на тези разходи е необходимо да има доказателства, поради което в тази методика **няма да бъдат разглеждани.**

Техническите разходи представляват загубите на енергия, неизменно съпътстващи физическия процес на пренасяне, трансформиране и разпределение на електрическата енергия. Изразяват се в топлинни загуби, загуби от електромагнитно разсейване, хистерезис, токове на Фуко и други. Съставлящите на тази компонента подлежат на изчисление и могат да бъдат определяни с недостатъчна точност. Известно е, че аналитичното определяне на техническите ТР може да стане само след редица опростяващи предположения относно поведението на товарите, потоците и характеристиките на мрежата. Дори и използването на модерни средства за измерване, комуникации и изчисления малко допринася за подобряване точността на анализа на динамично постоянно изменящите се електрически режими на всяка електрическа мрежа.

2.1. Определяне на техническата компонента на ПГСТР – $TR(\Delta E, MWh)$

За определяне на елементите на техническата компонента на ПГСТР се прилага разработена методика, която се основава на емпирични зависимости, в които като входни данни влизат дължина и брой на електропроводните линии по ниво на напрежение, броя на понижаващите трансформатори и др. Универсалността на тази методика я прави приложима за електроразпределителните дружества [3,4,5]. Окончателната стойност на техническата компонента на ПГСТР се установява с корекционни коефициенти, отчитащи специфичните особености на съответната електроразпределителна мрежа.

Извършва се диференцирано за разпределителна мрежа “ниско напрежение” (НН), разпределителна мрежа “средно напрежение” (Ср.Н) и разпределителна мрежа “високо напрежение” (ВН). Използват се съществуващите параметри на електроразпределителната мрежа: брой изводи и трансформатори, сумарни дължини на въздушните и кабелни линии, сумарна номинална мощност на

трансформаторите и планирани количества електрическа енергия, по видове потребители за съответната година, за която се извършва изчисляването на ПГСТР.

Основни допускания

Както бе подчертано аналитичното определяне на общите ТР е трудно осъществимо. Затова целта на изчислението е ТР да бъдат декомпозирани по нива на напрежения. Чрез известните от теорията на електротехниката съотношения се прави сравнителен анализ на ТР в мрежите СН и НН.

Една очевидна предпоставка е, че цялата енергия доставена на потребителите на НН преминава през мрежата за СН. С това се пренебрегва така наречената “разпределена” генерация без да се допусне, поне засега и в близките години, забележима неточност.

Привеждането на мрежата от едно на друго напрежение става чрез стандартните преводни отношения на трансформаторите.

За изчислението на съотношението на ТР в мрежите СН и НН не е необходимо да се използват методи за изчисление на ТР в абсолютни единици, а само сравнение между величините, които влияят върху тях: съпротивления и натоварване, разбира се, и напрежения, чрез които се привеждат съпротивленията.

Изходящите от трансформаторния пост ЕПЛ се третират като паралелни доколкото през товарите те се зануляват.

2.2. Технологични разходи в разпределителна мрежа НН

Изчисляването на загубите на електрическа енергия (технологични разходи) в разпределителна мрежа ниско напрежение (ΔE_{LV}) се извършва по следната математическа зависимост:

$$\Delta E_{LV} = \left(79E_a - 58 \frac{L_\Sigma}{n_L} + 3,6 \cdot 10^4 \frac{n_L}{n_T} + 746L_\Sigma - 7870 \right) \cdot 10^{-3}, MWh \quad (1)$$

където:

E_a - планирана за разпределение електрическа енергия, в MWh;

n_T - брой трансформатори;

n_L - брой изводи;

L_Σ - дължина на изводите, в km. Към дължината на въздушните линии се прибавя дължината на кабелните линии, редуцирана с 15%.

2.3. Технологични разходи в разпределителна мрежа Ср.Н.

Изчисляването на загубите на електрическа енергия (технологичните разходи) в разпределителна мрежа средно напрежение (ΔE_{MV}) се извършва по следната математическа зависимост:

$$\Delta E_{MV} = 50 \left(\frac{E_a}{2700} \right)^{1,81} \left(\frac{1}{S_T U} \right)^{0,66} \left(1500 \frac{n_T}{n_L} \right)^{0,27} \left(\frac{S_T}{n_T} \right)^{0,53} \left(\frac{L_\Sigma}{n_L} \right)^{0,6} \Delta P_{п.х.} K_1, MWh \quad (2)$$

където:

E_a – планираната за разпределение електрическа енергия, в MWh;

S_T - сумарна инсталирана мощност на трансформаторите;
 U - номинално напрежение, 20 kV;

За ниво на напрежение 10kV или 6kV сумарната дължина на електропроводните линии за това ниво на напрежение се коригира с квадрата на коефициента на трансформация:

$$L_{10\Sigma} = L_{\Sigma} \cdot \left(\frac{20}{10}\right)^2 \quad (3); \quad L_{6\Sigma} = L_{\Sigma} \cdot \left(\frac{20}{6}\right)^2 \quad (4)$$

n_T - брой трансформатори;

n_L - брой изводи;

L_{Σ} - дължина на изводите, в km. Към дължината на въздушните линии се прибавя дължината на кабелните линии, редуцирана с 15%;

$\Delta P_{п.х.}$ - загуби в стомана в силовите трансформатори по каталожни данни;

K_1 - отразява съществуващата възрастова структура на трансформаторите СрН/НН и варира от 1,0 до 1,5;

Съгласно формулата, техническите разходи в силовите трансформатори са отразени като част от разходите на ниво СрН.

2.4. Технологични разходи в разпределителна мрежа ВН

Изчисляването на техническите технологични разходи в разпределителна мрежа високо напрежение (ΔE_{HV}) се извършва по метода на времетраенето на максималните мощности (τ - метод):

➤ **Условното времетраене на максималните загуби на мощност** се определя по следната математическа зависимост:

$$\tau = 2T_{max} - 8760 + \frac{(8760 - T_{max})}{\left(1 + \frac{T_{max}}{(8760 - 2P_{min}/P_{max})}\right)}, h \quad (5)$$

където:

T_{max} - продължителност на използване на максималния товар за разглеждания период, в часове - h;

P_{min} , P_{max} – товар на системата, съответно за минимален и максимален режим, в MW.

➤ **Пределната стойност на загубите** на електрическа енергия в разпределителната мрежа високо напрежение се определят от следната зависимост:

$$\Delta E_{HV} = \tau \Delta P_{max}, \text{ [MWh]}, \quad (6)$$

където:

ΔP_{max} - загуби на активна мощност в максимален режим, в MW.

2.5. Технологични разходи от собствена консумация на средствата за търговско измерване и часовниковите превключватели

Изчисляването на технологичните разходи от собствена консумация на средствата за търговско измерване и часовниковите превключватели ΔE_M се извършва диференцирано за монтираните трифазни и монофазни електромери и часовникови превключватели:

$$\Delta E_M = \sum_{i=1}^{3,r,w} n^i \Delta P^i 8760 \cdot 10^{-6}, MWh \quad (7)$$

където:

n^1 - брой монофазни електромери;

n^3 - брой трифазни електромери;

n^r - брой превключващи тарифите релета;

n^w - брой часовникови превключватели;

ΔP^i - собствена консумация на средствата за търговско измерване и тарифните превключватели, по видове:

ΔP^1 - от 1,2 до 2,0 W, за монофазни електромери;

ΔP^3 - от 2,0 до 3,0 W, за трифазни електромери;

ΔP^r - от 0,6 до 1,0 W, за тарифните релета;

ΔP^w - от 0,6 до 1,0 W, за часовниковите превключватели.

1.1. 2.6. Технологични разходи от Петерсонови бобини, от токове през директно заземени или през активни съпротивления звездни центрове, от малки активни токове към земя (ΔE_N)

Стойността на тези разходи е от 0,05% до 0,1% от планираната електрическа енергия за разпределение, по експертна оценка.

2.7. Изчисляване на окончателните стойности на технологичните разходи $TR(\Delta E, MWh)$ чрез корекционни коефициенти, отразяващи спецификата на съответната електроразпределителна мрежа

$$\Delta E = \Delta E_{LV} K_2 K_3 K_4 + \Delta E_{MV} K_3 K_4 + \Delta E_{HV} K_3 + \Delta E_M + \Delta E_N, MWh \quad (8)$$

където:

K_2 - отразява степента на несиметрия на товарите в мрежи НН и СрН и варира от 1,0 до 1,35;

K_3 - отразява влиянието на преноса и трансформацията на реактивната енергия по съответната електроразпределителна мрежа и варира от 1,0 до 1,3;

K_4 - отразява начин и степен на изграденост на съответната електро-разпределителна мрежа (вид и сечение на проводници и кабели, включително и рекордоманни отклонения) и варира от 1,0 до 1,4.

2.8. Установяване на пределната годишна стойност на технологичните разходи за разпределение на електрическа енергия, в проценти – ПГСТР% ($\Delta E_{\Sigma}\%$)

Изчисляването на ПГСТР_{уст.}% се извършва, както следва:

2.8.1. Методика за изчисляване на ПГСТР% ($\Delta E\%$)

Изчислява се относителния дял на общите технологични разходи, спрямо планираната годишна енергия за разпределение, в проценти):

$$\Delta E\% = \Delta E / E_a, \quad (9)$$

където:

ΔE – изчислена стойност в MWh, съгласно т.1;

E_a – годишен план на електроенергия за разпределение, в MWh.

Изчислената стойност на ПГСТР $\Delta E\%$, в проценти, е установената стойност на фирмената норма за пределни годишни технологични разходи за разпределение на електрическа енергия на съответното електроразпределително дружество.

2.8.2. Изчисляване на ПГСТР% ($\Delta E\%$).

2.8.3. Изходни данни за 2014 г.

Изходните данни са дадени в табл.1.

Таблица 1

НН			
E_a	MWh	планирана за разпределение енергия мрежа НН	7 908 015
n_T	бр.	брой трансформатори мрежа НН	19 060
n_L	бр.	брой изводи мрежа НН	72 000
L_{Σ}	км	дължина на изводи мрежа НН	32 117
СрН			
E_a	MWh	планирана за разпределение енергия мрежа СрН	2 372 082
n_T	бр.	брой трансформатори мрежа СрН	19 060
n_L	бр.	брой изводи мрежа СрН	7 000
L_{Σ}	км	дължина на изводи мрежа СрН	24 259
S_T	MVA	сумарна инсталирана мощност на трансформаторите	15 250
$\Delta P_{н.х.}$	MWh	загуби в стомана в силовите тр-ри по кат. данни	23

T_{max}	<i>h</i>	продължителност на използване на макс. товар	4600
P_{min}	<i>MW</i>	товар на системата в минимален режим	571
P_{max}	<i>MW</i>	товар на системата в максимален режим	2210

m.2.5.

n^1	<i>бр.</i>	брой монофазни електромери	1 798 788
n^3	<i>бр.</i>	брой трифазни електромери	287 878
n^r	<i>бр.</i>	брой превключващи тарифите релета	643 662
n^w	<i>бр.</i>	брой часовникови превключватели	314 532

При тези изходни данни, ПГСТР% за 2014 г. са: 1 214 MWh или 11,81% от ЕЕ за разпределение в размер на 10 280 MWh.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1.2.Годишните технологични разходи установени по реда на този стандарт се анализират с цел да бъде установена възможността за тяхното намаление посредством организационни и технически мероприятия. Тъй като техническите мероприятия изискват значителни инвестиции, анализът е от съществено значение за съставяне на инвестиционната програма.
- 1.3.Тази методика може да послужи за целите на регулирането и определяне на ПГСТР
- 1.4.Методиката не може да служи за счетоводни цели и определяне на финансовия резултат на дружествата.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) **ДКВЕР.** Методика за определяне на допустимите размери на технологичните разходи на електрическа енергия при пренос и разпределение на електрическата енергия.
- 2) **Кирчев В, Янев К., Георгиев М,** Електрически мрежи средно и ниско напрежение, С, Летера,2006
- 3) **Железко Ю. С., Артемьев А. В., Савченко О. В.,** Разчет, анализ и нормирование потери электроэнергии в эл.сетях,М,ЭНАС,2007

- 4) **Разкулов Р. Ф., Смирнов А. С.**, Недоучет электроэнергии вызванный погрешностями трансформаторов тока 0,66-20кВ, М, ЭНАС 2003
- 5) **Железко Ю. С.**, Недоучет электроэнергии, допустимые небалансы их отражение в нормативных потерь, Электрические станции 2003, 11

Автор: Валентин Генев Колев, доц. д-р в катедра „Електроенергетика” (ЕЕ),
Електротенически Факултет, Технически Университет-София, E-mail adress:
vkolev@tu-sofia.bg

Постъпила на 15. 12. 2014г

Рецензент: доц. д-р инж. Светлана Цветкова

РЕГИОНАЛНО ОБЕДИНЯВАНЕ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНИТЕ ПАЗАРИ В САЩ

Димо Стоилов, Никола Николов, Теодора Терентева

Резюме: В статията се разглежда интеграцията на електроенергийното стопанство на североамерикански щати, поели пътя на реорганизацията въз основа на цитираното федерално законодателство. Процесът на консолидиране на електроенергийните пазари не се извършва чрез задължително въвеждане на „стандартен“ пазар на едро, а чрез доброволно създаване и функциониране на независими регионални преносни организации (RTO) или на независими системни оператори (ISO). Те са почти еднакви независими организации от корпоративен тип, които не са собственици на централи или мрежи и не придобиват имуществени права върху електроенергията, а обединяват и управляват централизирано производствените и преносните съоръжения на своите членове, обхващащи територията на няколко щата.

Ключови думи: Регионални преносни организации, Независими системни оператори, Централизиран електроенергиен пазар на едро.

REGIONAL INTEGRATION OF ELECTRICITY MARKETS IN USA

Dimo Stoilov, Nikola Nikolov, Teodora Terenteva

Abstract: The paper concerns the integration of the electric power utilities of North American States, which undertake the reorganization according to the referred federal legislation. The consolidation of electricity markets stipulate for establishment and operation of Independent Regional Transmission Organizations (RTOs) or Independent System Operators (ISOs) on a voluntary base but not on a mandatory "standard" wholesale market. RTOs and ISOs are similar independent corporation type organizations. They do not possess property rights on power stations and transmission networks nor on the electricity they dispatch, but they integrate and provide centralized management of the generation and transmission facilities of their members, spread over the territory of several states.

Key words: Regional Transmission organizations, Independent System Operators, Centralized Whole-sale Electricity Market

РЕОРГАНИЗАЦИЯ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНИТЕ СТОПАНСТВА В САЩ

Реорганизации на електроенергийни стопанства се извършват навсякъде по света с основна цел повишаване на икономическото благосъстояние на реорганизиращите. Примери за реорганизиране на електроенергийни компании от Европа са разгледани в [1]. Характерното при тях е, че големите корпорации като Vattenfall, Elia, E.ON, EDF, Enel, Tennet и CEZ продават минимално количество¹ свои дялове само ако за сметка на това закупуват нови собствениности върху други енергийни компании и дружества по цял свят, за да спечелят повече. Те не само не раздробяват, но наопаки - уедряват (консолидират) своите групи, които осъществяват едновременно дейностите производство, пренос, разпределение, търговия и снабдяване с електроенергия и други енергоносители на определена територия. Така те реализират „ефективност от мащаба“, чрез което постигат ползи за акционерите и клиентите си, както и увеличаване на икономическата стабилност – фирмената и държавната. В резултат националните или регионалните компании се консолидират и прерастват в транс-национални групировки, най-често от типа компании, притежавани от вложители (investor owned company-ИОС). Например към края на 2000 г. 73% от преносните мрежи в САЩ са притежавани от компании на вложители. Останалите 27% са били собственост на федерални (13%) или на други обществени предприятия (14%), в т.ч. държавни или кооперативни дружества за обществени ползи [2]. Като брой компаниите на вложителите били малко (6%), но доставяли 66% от енергията и владеели 71% от енергийните пазари към 2007 г.[3].

Процесът на консолидиране на гигантските електроенергийните групи в Европа продължава и косвено чрез дейностите за съединяване на националните и регионалните пазари: Първоначално съединяване на пазарите за следващия и текущия ден, след това - на балансиращите пазари и накрая създаване на интегрален европейски електроенергиен пазар [4].

За разлика от тях у нас след 1989 г. държавата като собственик на българските енергийни дружества постепенно загуби части от тази собственост и контрола върху капитала на електроенергетиката си. Това стана и в други отрасли, поради което нацията систематично и тотално обедня. Причините са както глобални², така и национални. Икономисти, политици и историци трябва добре да ги изяснят и обяснят, та дано бъдещите разпоредители на държавни пари успеят да изменят тенденцията от лоши към добри последствия [5].

В САЩ обществените компании водят началото си още от началото на електрификацията и от Закона за възстановяване приет през 1902 г. (Reclamation Act

¹ Може да звучи странно на някои читатели, но тези количества наистина са регулирани от съответната държава.

² Читателят може да направи аналогия с предхождащи процеси на разоряване и последващи процеси на „подпомагане“ възстановяването на национални икономики или енергийни сектори, например в Албания, Аржентина, Бразилия, Косово, Македония, Полша, Румъния, Русия, Словакия, Турция, Унгария, Черна гора, Чили и т.н. [2], [3].

1902), като при различни исторически етапи или обекти са конкретизирани отделни условия [3].

Със закона за политиката по регулиране на компаниите за обществени ползи (Public Utility Regulatory Policies Act of 1978 - PURPA) идва и понятието класифициращи съоръжения (qualifying facilities - QFs), чрез което се създава категория производители на електроенергия извън тази на компаниите за обществени ползи (nonutility power producers), която обхваща комбинираните топло-електроцентрали (combined heat and power - CHP plants). Широко разпространение е получило обединяването на много разнообразни компании за обществени ползи в пулове, които са планирали и диспечирали производствените агрегати за постигане на по-голяма обща ефективност. По този начин компании с високи разходи са оставали в резерв, а са ползвали по-евтина енергия, а компании с по-малки разходи са получавали по-голямо натоварване и използване, което им докарвало допълнителни приходи. При последващите реорганизации някои пулове са запазени, а други са видоизменени.

Първоначално съвременният реорганизационен процес е предмет на закона за енергийната политика (Energy Policy Act) от 1992 г. и на заповедите на FERC (orders № 888 and № 889) от 1996 г. Със заповед № 2000 от 1999 г. се разрешава създаването на независими регионални преносни организации (Independent Regional Transmission Organizations - IRTOs) и на независими системни оператори (Independent System Operators - ISOs). ISO/RTO са почти еднакви независими организации от корпоративен тип, които не са сдружени с другите пазарни участници, но обединяват и управляват преносните съоръжения на много собственици, разположени на части от огромни територии (региони), сформирани от няколко щата. Подобно на RTO независимият системен оператор извършва дългосрочно координирано регионално планиране, ежедневно краткосрочно планиране, управление в реално време, администриране на краткосрочните пазари, уреждане на взаимните задължения и други услуги на участващите компании в рамките на своята територия. За разлика от регионалната преносна организация ISO може да не е изпълнило някое от минималните изисквания на FERC за придобиване права на RTO или самият ISO не е кандидатствал за получаване на статут на RTO. Така или иначе RTO/ISO се счита за най-ефективната форма за заместване на по-дребните пулове с подобна организация на огромни територии, запазвайки голяма пазарна самостоятелност и независимост на отделните участващи компании. Електроенергийна борса (California Power Exchange - PX) е уреждала пазара за следващия ден единствено в California, но през 2000 г. там започва няколко годишна криза, в резултат от което либерализираният пазар е преустановен [8].

През 2002 г. започва обсъждането на така нареченото стандартна пазарна уредба (Standard Market Design - SMD), което предвижда задължително обединяване на преносните компании в регионални преносни организации (RTOs) или независими системни оператори (ISOs) под юрисдикцията на федералната енергийна регулаторна комисия (Federal Energy Regulatory Commission). Със закона за енергийната политика от 2005 г. са дадени по-големи пълномощия на FERC за надзор на пазара на едро, за решаване на противоречията, които съществуват

между отделните щатски интереси при строителство на нови преносни електропроводи, за определяне на стимули за такова строителство, както и стимули за производствени технологии. Законът разширява и модифицира данъчното освобождаване за производство на електроенергия от възобновяеми източници (renewable electricity production tax credit - РТС). За отбелязване е, че освобождаването от данък се прилага за кооперативи без право на печалба, компании за обществени ползи, за държавни или за щатски дялове на междудържавни сдружения, индиански местни управления или корпорации. Този закон отменя прословутите пътища за транзитиране (transition path) и въвежда по-строги изисквания и регулаторен контрол за избягване на пазарна сила. Реорганизирането не е задължително, а доброволно. Запазени са правомощията на щатските и местните регулаторни органи за по-голяма защита на местните компании и потребители [9-11].

През декември 2007 г. сенатът приема закона за енергийната независимост и сигурност (Energy Independence and Security Act of 2007 - EISA), който регламентира: модернизацията на преносната мрежа, разрастването на умните/хитрите мрежи (smart grids), данъчните облекчения за инвестирането, създаването на федерален комитет по умна мрежа и определяне на федерално финансиране на изследванията и развитието. Умните мрежи трябвало преди всичко да осигурят цени в реално време за консуматорите [3], [8].

Също през 2007 г. Федералната комисия за енергийно регулиране излъчва предложение за правила при по-голямо използване на динамични цени по време на недостиг и предизвикване на отзива на консуматорите, увеличаване на възможността да се прилагат дългосрочни договори, по-строг надзор над пазарите и увеличаване отговорността на ISO/RTO пред консуматорите и останалите заинтересувани страни. В резултат на обсъждането на предложението и направените бележки през октомври 2008 г. комисията издава заповед 719, най-важното в която е:

- ISO/RTO да приемат предложения за отзив на консуматорите равнопоставено на другите източници;
- ISO/RTO да не прилагат санкции към консуматори, които по време на авария консумират по-малко от договореното на пазара за следващия ден;
- ISO/RTO да позволяват на обединители на дребни клиенти да предлагат при определени условия отзив от името на консуматорите;
- ISO/RTO да подобрят пазарните правила, за да не се допуска прилагане на пазарна сила по време на недостиг;
- ISO/RTO да окачествят консуматорите, които могат да предлагат балансираща енергия, въртящ резерв, допълващ резерв, реактивна мощност и регулиране на напрежението и отзив при регулиране на честотата.

Пак през 2008 г. чрез Закона за консолидираното предназначаване са направени допълнения в закона за политиката по околна среда, които задължават да бъдат докладвани емисиите на парникови газове от 10000 инсталации.

През март 2009 г. Федералната комисия за енергийно регулиране приема заповед 890, в която се уточняват подробно условията за открит достъп до преносните мрежи, за да се избегне неоправдано дискриминиране и да се гарантира по-

голяма яснота при планирането и използването на преносните мрежи (Open-access transmission tariff (OATT) pro forma). Заповедта уточнява и условията за предоставяне на достъп от възел до възел, за уточняване на цените при небаланси от възел до възел, за информационната система OASIS.

Законът за възстановяване на Америка и реинвестиране (American Recovery and Reinvestment Act) от 2009 г. представлява пакет от стимули за избягване влиянието на рецесията, който в областта на електроенергията стимулира възобновяемите източници, енергийната ефективност, модернизацията на националната мрежа, умните електромери, изследванията и развитието, и улавянето на емисии.

Законът за чистата американска енергия и сигурност (American Clean Energy and Security Act) от 2009 г. предвижда много важни изменения в енергийната политика на САЩ, по-важните от които са насочени към намаляване на емисиите и световното затопляне чрез:

- Въвеждане на така наречените „ограничаващи шапки“ и търговски програми за емисии;
- Намаляване на данъци или даване на отстъпки на семейства с ниски доходи за компенсирани повишените цени от емисионните търговии;
- Въвеждане на задължителен минимум електроенергия от ВЕИ;
- Създаване на изследователски център за съхраняване на емисии;
- Увеличаване на правителствените заеми с 25 милиарда за електрифициране на автомобилната индустрия;
- Създаване на администрация към департамента по енергетика за заемите, гаранциите и кредитите за чисти енергийни проекти;
- Предоставяне на ваучери за постигане на по-голяма горивна ефективност при личните автомобили;
- Други програми за постигане на определени цели.

Чрез същия закон се ускоряват новите чисти технологии, новите стандарти за възобновяеми източници и здрава и сигурна национална преносна магистрална мрежа. Законът регламентира още увеличаване на енергийната ефективност на сградите, обзавеждането и апаратите, увеличаване на американската независимост от доставчици на горива, удвояване на средствата за изследвания и развитие, за да се обезпечи водеща роля на американската енергийна наука и технологии и за изграждане на нова работна сила за бъдещето и за защита на консуматорите чрез усъвършенстване на пазарите.

В резултат от правното, организационно и икономическо реструктуриране в САЩ съществува голямо разнообразие от регулирани, нерегулирани и частично регулирани дружества. Понастоящем в САЩ и Канада съществуват седем независими системни оператора:

- CAISO - California ISO;
- NYISO - New York ISO;
- Electric Reliability Council of Texas (ERCOT), also a Regional Reliability Council;
- Midcontinent Independent System Operator - Midcontinent ISO;
- ISO-NE - ISO New England;

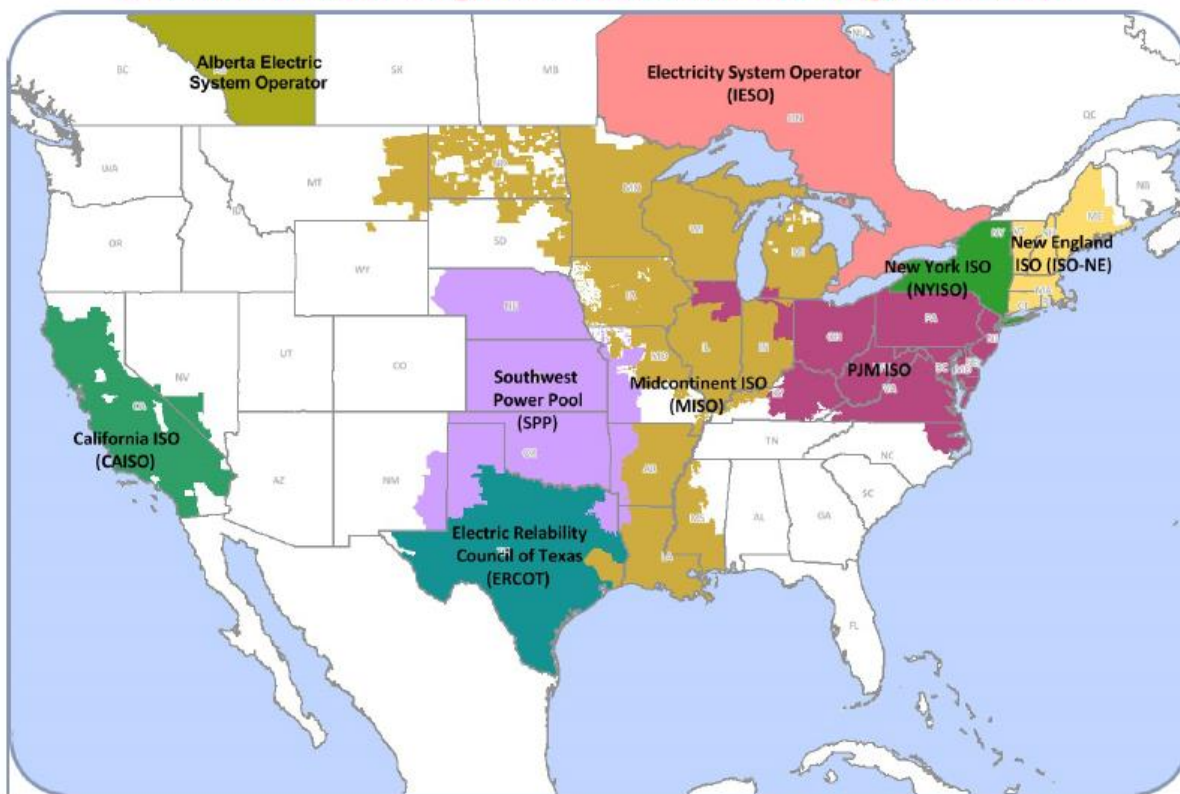
- AESO - Alberta Electric System Operator;
- Independent Electricity System Operator (IESO), който оперира Hydro One transmission grid в Онтарио, Канада

и четири независими регионални преносни организации (RTO), независимо от наличието на инициалите “ISO” в имената на някои от тях[12]:

- ISO PJM (PJM Interconnection), (PJM - Pennsylvania, New Jersey, Maryland);
- Midwest Independent Transmission System Operator (MISO), която е RTO независимо от абривиатурата ISO в наименованието ѝ;
- Southwest Power Pool (SPP), който едновременно се явява и Regional Reliability Council;
- ISO New England (ISONE), която е RTO независимо от абривиатурата ISO в наименованието ѝ.

Централизираните регионални електроенергийни пазари на едро са показани на фиг.1. При тях цените на произвежданата електроенергия и спомагателни услуги не се регулират, но се надзират. Съществуват независими системни оператори и продавачи на дребно. Разпределителните и преносни компании не купуват електричеството, а само го провеждат през мрежите съгласно изискванията на своите клиенти и получават заплащане за тези услуги.

North American Regional Transmission Organizations



Source: Created in Energy Velocity

Updated: July 14, 2014

Фиг.1.

Неоцветените щати все още не са дерегулирали своите електростопанства. Координираният от PJM Interconnection пазар се счита за най-ефикасния измежду всички RTO/ISO [13]. Той има дълго и възходящо, а не прекъсвано развитие, както например пазарът в Калифорния. Освен това PJM Interconnection има оп-

ределено водеща роля при използването на последните постижения на информационните и съобщителни технологии в пазарите за електроенергия. Двете нива на търговия (на едро и на дребно) са рязко разграничени, а пазарните организации се регулират на три нива: федерално, щатско и общинско. В PJM са съчетани традиционализмът на съществуващите щатски/общински/кооперативни компании за обществени ползи (Utility) и пробиващите с лакти новопоявяващи се предприятия. Поради изброените достойнства в тази статия разглеждаме историята на PJM, в [14] описваме организацията, функциите и услугите на PJM Interconnection L.L.C., а в [15] и [16] - пазарите за разполагаема мощност, резерви, регулиране и електроенергия, основани на местните (локалните) прирастни цени МПЦ (Locational Marginal Pricing-LMP).

Компаниите членки в PJM са предимно вертикално интегрирани предприятия за обществени услуги (ползи - utility). Много компании членки са вече в състава на големи корпорации, собственост на вложители или самите те са изкупили или създали дъщерни дружества. Макар при изменена организационна и собственическа структура компаниите изпълняват едновременно ролите на Производител (Producer), собственик на преноса (Transmission owner), Оператор на контролна зона (Control zone operator), Клиент на пренос (Transmission customer), Електрическа разпределителна компания (Electric Distribution Company - EDC), Купувач на пазара на едро за препродаване на пазара на дребно (retail power customer) и Предприятие за обслужване на товари/консуматори (Load Serving Entity - LSE). Някои очаквания за силно нарастване на независимите производители не са се състояли, защото традиционните компании проявили гъвкавост и издръжливост. Те не се подали на популистки идеи за раздробяване, опазили са се от отслабване и не допуснали да бъдат измествани. Появяващите се напоследък алтернативни предприятия за обслужване на товари също са производни от силните корпорации, независимо от привидната конкурентост. Много рядко оцеляват новопоявяващите се некорпоративни предприятия за препродажба на дребно. Като обобщение следва да се подчертае, че в САЩ няма щампа за стандартен пазар, каквито планове е имало между 2002 и 2005 г. Пазарът на дребно продължава преобладаващо да се обслужва от класическите дружества за обществени услуги (ползи), регулирани от щатска регулаторна комисия, наричани „компанията”.

КРАТКА ИСТОРИЯ НА PJM

PJM започва дейността си през 1927 г., когато три компании за обществени ползи се възползват от възможността за реализиране на ползи и подобряване на ефикасността чрез обединяване на производствените ресурси, като формират първия в света, съществуващ и до днес, електроенергиен пул. През 1956 г., 1965 г., 1981 г., 2011 г. и 2012 г. се присъединяват и други компании. През 1962 г. PJM инсталира първия си компютър за управление на генераторите. PJM завършва първата си Система за Управление на Енергията - СУЕ (Energy Management System - EMS) през 1968 г., чрез която надзирава и управлява функционирането/оперирането на преносната мрежа в реално време. През 1996 г. PJM инста-

лира първия си уеб сайт, за да предоставя на своите членове текуща информация за работата на (обединената) система.

PJM започва да се превръща в независима, организация през 1993 г., когато е основана Асоциацията на енергообединението PJM за да администрира електроенергийния пул. През 1997 г. PJM става напълно независима организация. Тогава е позволено членство на дружества, които се различават от тези за обществени ползи (non-utilities) и е избран независим Управителен съвет.

На 1 април 1997 г. PJM открива първия електроенергиен пазар, който е основан на предложения. По-късно същата година Федералната комисия за енергийно регулиране (FERC) одобрява PJM като първи национален (за САЩ) напълно функциониращ независим системен оператор - ISO. През 2001 година PJM става първата национална напълно функционираща регионална преносна организация - RTO.

В периода от 2002 до 2005 г. PJM обединява множество преносни системи в единен процес на опериране: Allegheny Power през 2002 г., Commonwealth Edison, American Electric Power и Dayton Power & Light през 2004 г., и Duquesne Light и Dominion през 2005 г. През 2011 г. към PJM се присъединяват American Transmission Systems, Inc. (ATSI) (дъщерно дружество на FirstEnergy, отговорно за преноса) и Cleveland Public Power (CPP). През 2012 Duke Energy Ohio, Inc. и Duke Energy Kentucky, Inc. Company (DEOK) също се присъединяват към PJM. Тези интеграционни процеси увеличават броя и разнообразието на разполагаемите източници за производство на електроенергия за посрещането на потребителското търсене в цялото обединение и увеличават ползите за PJM пазара на електроенергия на едро.

PJM и среднозападния независим системен оператор (MISO - Midwest Independent System Operator) работят заедно върху създаването на свързан общ пазар (Joint-Common Market - JCM).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесът на консолидиране на електроенергийните пазари в САЩ не се извършва чрез задължително въвеждане на „стандартен“ пазар на едро, а чрез доброволно създаване и функциониране на независими регионални преносни организации (RTOs) и на независими системни оператори (ISOs). ISO и RTO са почти еднакви независими организации от корпоративен тип, които не са собственици на централи или мрежи и не придобиват имуществени права върху електроенергията, а обединяват и управляват преносните съоръжения на много собственици, разположени на огромни територии. Съществуват единадесет регионални обединения, обхващащи около 25 щата. Останалите щати не са дерегулирали своите електроенергийни стопанства.

Компаниите за обществени ползи, членки на регионалните обединения, обикновено успяват да съхранят собствеността и дейностите си, като изпълняват едновременно ролята на производител, собственик на преноса, оператор на контролна зона, клиент на пренос, електрическа разпределителна компания, купувач на пазара на едро за препродаване на пазара на дребно и предприятие за обслужване на товари/консуматори.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Стоилов, Д. Г., Електроенергийни стопанства и пазари в Австрия, Германия, Италия, Полша, Румъния, Франция и Чехия, Технически университет-София, 2013 г.;
- [2]. The Changing Structure of the Electric Power Industry 2000: An Update, Energy Information Agency (October 2000), available: <http://www.eia.gov/FTP/ROOT/electricity/056200.pdf>;
- [3]. Monica Greer, Electricity Cost Modeling Calculations, Elsevier 2011;
- [4]. Communication from the Commission to The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee of The Regions, Brussels, 15.11.2012, COM(2012) 663 final.
- [5]. Стоилов, Д. Г., Анализ на електроенергийния пазар в България, Технически университет-София, 2013 г.;
- [6]. Results Of Electricity Sector Restructuring In Chile, Center for Energy Economics, *The University of Texas in Austin*, 2006;
- [7]. Results Of Electricity Sector Restructuring In Argentina, Center for Energy Economics, *The University of Texas in Austin*, 2006;
- [8]. Evolution of the Electric Industry Structure in US and Resulting Issues, Navigant Consulting, 2013;
- [9]. Remediating Undue Discrimination through Open Access Transmission Service and Standard Electricity Market Design, Notice of Proposed Rulemaking, 67 Fed. Reg. 55,452 (Aug. 29, 2002);
- [10]. Federal Energy Regulatory Commission, White Paper-Wholesale Power Market Platform, April 28, 2003;
- [11]. Federal Energy Regulatory Commission, Order Terminating Proceeding, July 19, 2005;
- [12]. RTO/ISO Section, FERC.gov
- [13]. <http://www.pjm.com>
- [14]. Стоилов Д., Н. Николов, Т. Терентева, Организация и функции на PJM Interconnection, Научна Конференция „ЕФ 2014“, Сборник доклади, Созопол 2014
- [15]. Стоилов Д., Н. Николов, Т. Терентева, Регионален пазар на едро: примерът на PJM. Част първа - пазар за разполагаема мощност, резерви и регулиране, сп. Енергетика, 2014, под печат

[16]. Стоилов Д., Н. Николов, Т. Терентева, Регионален пазар на едро: примерът на РЈМ. Част втора - пазар за електроенергия с местни прирастни цени, сп. Енергетика, 2014, под печат

Автори: Димо Георгиев Стоилов, доц. д-р, катедра „Електроенергетика“, Електротехнически Факултет, Технически Университет-София, E-mail adress: dstoilov@tu-sofia.bg ; Никола Неделчев Николов, маг. инж., асистент, катедра „Електроенергетика“, Електротехнически Факултет, Технически Университет-София, E-mail adress: n_nikolov@tu-sofia.bg ; Теодора Николаева Терентева, маг. инж., докторант в катедра „Електроенергетика“, Електротехнически Факултет, Технически Университет-София, E-mail adress: terenteva@tu-sofia.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Мария Кънева

ОПРЕДЕЛЯНЕ ПРЕДАВАТЕЛНИТЕ ЧИСЛА НА СКОРОСТНАТА КУТИЯ НА ЕЛЕКТРОМОБИЛА

Чавдар Джамбазки

Резюме: В доклада е извършен анализ на методите за определяне предавателните числа на скоростната кутия на електрическия автомобил (ЕМ).

Ключови думи: трансмисия, електромобил, предавателно число, тягов електрически двигател

DETERMINATION GEAR RATIOS OF THE GEARBOX ELECTRIC VEHICLE

Chavdar Djambazki

Abstract: In the report is an analysis of methods for determining gear ratios in the transmission of electric vehicle.

Keywords: transmission, electric vehicle, gear ratio, traction electric motor

ВЪВЕДЕНИЕ

Трансмисията на ЕМ е предназначена да предава въртящия момент $M_{дв}$ от ЕД към водещите колела. При предаването на въртящия момент се извършва неговата трансформация и предаване по мостове. Степента на трансформация на въртящия момент $M_{дв}$ зависи от предавателното число на трансмисията i , което се определя със съотношението на въртящия момент на колелата и въртящия момент на вала на двигателя. При предаването възникват сумарни загуби, които се определят от загубите в зъбните зацепвания, лагерните възли, загубите за разбиване и разпръскване на маслата и т.н.

Предавателното число може да се изрази с формулата

$$\mu_{тр} = \frac{M_k}{M_{дв} \cdot \eta_{тр}} \quad (1)$$

където: M_k – момента на колелата;

$M_{дв}$ – момента на вала на ЕД;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмисията;

$\square_{тр} = \square_p \cdot \square_{епр}$ – произведение на к.п.д. на редуктора и главната предавка.

Предавателното число на трансмисията може също така да се изрази като отношение между ъгловите скорости на въртене на вала на двигателя и колелата.

$$\mu_{тр} = \frac{\Omega_{дв}}{\Omega_{кол}} = \frac{\Omega_{дв} \cdot r_{кол}}{V_{ЕМ}} \quad (2)$$

където: $\Omega_{дв}$ – ъглова скорост на вала на ЕД;

където: F_k – теглителна сила реализирана на колелата на ЕМ;

G – тегло на ЕМ;

i – стойност на наклона - $i = \tan \alpha$;

v – линейна скорост на ЕМ, m/s (km/h);

$$K_w = \frac{C_x \cdot \rho \cdot S}{G} - \text{коэффициент на аеродинамичност} \quad (4)$$

където: C_x – коэффициент на аеродинамично съпротивление;

S – площ на мидела, равна на произведението коловоз по височина;

ρ – плътност на въздуха;

f – коэффициент на съпротивление на търкаляне

$$f_k = f_0 \cdot (1 + A_f \cdot V^2) \quad (5)$$

където: f_0 – коэффициент на съпротивление на търкаляне при малки скорости;

Таблица 1: Коэффициент f_0 на съпротивлението на търкаляне на еластично колело

Диапазон	Състояние на пътя		Залежен път	Дребен чакъл, трамбован	Състояние на калдъръма		Трамбована земя	
	Добро	Удовлетворително			Добро	Удовлетворително	Суха	Мокра
От	0,008	0,015	0,015	0,020	0,025	0,035	0,025	0,050
До	0,015	0,030	0,020	0,025	0,030	0,050	0,035	0,150

Таблица 2: Ориентировъчни стойности на коэффициента A_f

Тип на автомобила	Дименсия на скоростта	
	Km/h	m/s
Лек	$(4 - 5) \cdot 10^{-3}$	$(5,1 - 6,5) \cdot 10^{-4}$
товарен	$(2 - 3) \cdot 10^{-3}$	$(2,6 - 3,9) \cdot 10^{-4}$

СЛУЧАЙ НА ДОСТИГАНЕ НА МАКСИМАЛНА СКОРОСТ

От общото уравнение за теглителната сила на колелата, отчитайки че $i = 0$ имаме:

$$F = G(f + K_w \cdot v^2) \quad (6)$$

Знаейки също, че $M_k = F \cdot r_k$ и $M_{дв} = \frac{M_k}{\mu_{тр} \cdot \eta_{тр}}$ ще получим:

$$M_{дв} = \frac{F \cdot r_k}{\mu_{тр} \cdot \eta_{тр}} \quad (7)$$

или:

$$F = \frac{M_{дв} \cdot \mu_{тр} \cdot \eta_{тр}}{r_k} = G(f + K_w \cdot v^2) \quad (8)$$

Предавателното число се изразява с израза:

$$\mu_{тр}^v = \frac{G(f + K_w \cdot v^2) \cdot r_k}{M_{дв} \cdot \eta_{тр}} \quad (9)$$

СЛУЧАЙ НА ПРЕОДОЛЯВАНЕ НА ПРЕДЕЛНИЯ (РЪКОВОДЯЩ) НАКЛОН

От общото уравнение на теглителната сила на колелата отчитайки че ϑ е достатъчно малка стойност, а $K_w \cdot v^2$ клони към нула ще получим:

$$F = G(f + i) \quad (10)$$

Аналогично на предишния случай ще изразя предавателното число с израза:

$$\mu_{\text{тр}}^M = \frac{G(f+i) \cdot r_k}{M_{\text{дв}} \cdot \dot{\eta}_{\text{тр}}} \quad (11)$$

По този начин решаваната задача се свежда към избор на оптимално предавателно число на трансмисията $i_{\text{тр опт}}$ от промеждутъка гранични стойности на предавателните числа $\mu_{\text{тр}}^V - \mu_{\text{тр}}^M$, където: $\mu_{\text{тр}}^V$ – предавателно число при движение с максимална скорост на равен хоризонтален път $i = 0$; $\mu_{\text{тр}}^M$ – предавателно число на трансмисията при движение по път с максимален наклон с гранична скорост.

При избора на оптимално предавателно число трябва да се има предвид следното: избирайки предавателно число близко до $\mu_{\text{тр}}^V$ ЕМ ще развива скорост близка до максималната, но може да загуби динамиката на ускорението, ако изберем предавателно число близко до $\mu_{\text{тр}}^M$, то ЕМ ще преодолява зададения максимален наклон, но ще трябва да коригираме максималната скорост на ЕМ.

Линейната скорост на ЕМ се изразява чрез ъгловата скорост на вала на ТЕД $v = \frac{\Omega_{\text{тед}} \cdot r_k}{i_{\text{тр}}}$ и неговата стойност се замества в израз (9).

$$G \cdot f \cdot \mu_{\text{тр}}^2 \cdot r_k + G \cdot K_w \cdot \Omega_{\text{дв}}^2 \cdot r_k^3 = M_{\text{дв}} \cdot \dot{\eta}_{\text{тр}} \cdot \mu_{\text{тр}}^3 \quad (12)$$

или

$$M_{\text{дв}} \cdot \dot{\eta}_{\text{тр}} \cdot \mu_{\text{тр}}^3 - G \cdot f \cdot \mu_{\text{тр}}^2 \cdot r_k + G \cdot K_w \cdot \Omega_{\text{дв}}^2 \cdot r_k^3 = 0 \quad (13)$$

За решаване на даденото уравнение се представя във вида

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0,$$

където: $a = M_{\text{дв}} \cdot \dot{\eta}_{\text{тр}}$;

$$b = -G \cdot f \cdot r_k;$$

$$d = -G \cdot K_w \cdot \Omega_{\text{дв}}^2 \cdot r_k^3$$

$$c = 0; x = \mu_{\text{тр}}$$

Ако това уравнение се раздели на величината a и вместо x се въведе нова променлива $y = x + \frac{b}{3a}$, то ще се получи уравнение от вида:

$$y^3 + 3py + 2q = 0$$

$$\text{където: } 2q = \frac{2b^3}{27 \cdot a^3} - \frac{bc}{3 \cdot a^2} + \frac{d}{a}; \quad 3p = \frac{3ac - b^2}{3a^2}$$

Отчита се, че $c = 0$ и се получава:

$$2q = \frac{2b^3}{27 \cdot a^3} + \frac{d}{a} \quad \text{и} \quad 3p = \frac{-b^2}{3a^2}$$

За решение на даденото уравнение се използва формулата на Кардано:

$$y_1 = U + V; \quad y_2 = \varepsilon_1 \cdot \mu + \varepsilon_2 \cdot v; \quad y_3 = \varepsilon_2 \cdot \mu + \varepsilon_1 \cdot v$$

$$\text{където: } \mu = \sqrt[3]{-q + \sqrt{p^2 + q^3}};$$

$$v = \sqrt[3]{-q - \sqrt{p^2 + q^3}}; \quad \varepsilon_{1,2} = -\frac{1}{2} \pm \mu \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Получава се:

$$\mu_T = \sqrt[3]{-q + \sqrt{p^2 + q^3}} + \sqrt[3]{-q - \sqrt{p^2 + q^3}} + \frac{G.f.r_K}{3.M_{дв.}\dot{\eta}_T} \quad (14)$$

$$\text{където: } q = \frac{2.b^3 + 27.a^2}{54.a^3}; \quad p = \frac{-b^2}{9.a^2}$$

Стойността на момента в точка D на тяговата характеристика $M_{\partial\theta}^D$ е максималната му стойност, развивана от тяговия ЕД при $\Omega_{\partial\theta}^D$ (момент и ъглова скорост в точка D на тяговата характеристика виж. Фиг.1).

АЛГОРИТЪМ ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ПРЕДАВАТЕЛНОТО ЧИСЛО

1. Подготовка на изходните данни

1.1. Определяне на изискуемите масогабаритни показатели.

1.1.1. m_n – пълна маса на ЕМ, kg;

1.1.2. B – ширина на ЕМ, m;

1.1.3. H – височина на ЕМ, m.

1.2. Определение на конструктивните характеристики:

1.2.1. r_K – радиус на търкаляне на колелата, m;

1.2.2. C_x – коефициент на аеродинамическо съпротивление.

1.3. Задание на експлоатационните свойства:

1.3.1. v – максимална скорост, m/s;

1.3.2. i – преодоляван наклон, %.

2. Определяне на предавателното число от условията за преодоляване на максималния наклон по формула № 1.

3. Определяне на предавателното число от условията за достигане на максимална скорост (при наличие на данни по максимална скорост) по формула № 2 или (при отсъствие на данни по максимална скорост) по формула № 3.

4. Избор на най-доброто рационално предавателно число за необходимите условия на експлоатация на ЕМ.

5. Корекция на предавателното число по условията на теория на детайлите на машините.

6. Корекция на максималния преодоляван наклон и максималната скорост на ЕМ с отчет на избраното предавателно число на трансмисията.

Разглеждан в качество на пример с определяне на предавателното число на трансмисията за електромобил, изграден на автомобил от семейство RENO GANGO. Изходните данни за ЕМ са показани в таблица 3. Приема се плътност на въздуха $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$, момент на двигателя $M_{дв} = 25 \text{ Nm}$ при максимална ъглова скорост $\Omega_{дв}^{max} = 681 \frac{1}{\text{сек}}$, КПД на трансмисията $\eta = 0,9$, коефициент на съпротивление на търкаляне $f_0 = 0,014$.

Резултатите от определяне на предавателните числа на трансмисията по формули 9, 11 и 14 са показани в таблица 4.

Таблица 3

Модел ТС	Масогабаритни показатели			Конструктивни характеристики		Експлоатационни свойства	
	Пълна маса, kg	Височина, m	Ширина, m	Радиус на колелото, m	Аеродинамика, C_x	Максимална скорост, km/h	Наклон %
Рено Канго	1640	1,98	1,86	0,31	0,30	90	15

Таблица 4

Модел на ЕМ	Изчислена стойност на $\mu_{тр}$			Фактическа стойност на $\mu_{тр}$		
Рено Канго	5,4	3	1,42	5,125	2,34	1,39

ИЗВОДИ

1. Изследвайки характеристиката на тяговия баланс може с достатъчна достоверност вече на предпроектен стадии да се определи рационалната стойност на предавателните числа на трансмисията.

2. Получената формула 3 от изчисленията на предавателните числа позволява в стадии проектиране да се отчете влиянието на масогабаритните показатели, конструктивни характеристики и експлоатационни свойства на ЕМ.

3. Стойността на предавателното число може да се оптимизира по пътя на минимизация на загубите в трансмисията.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Българанов. Л. Електрически транспорт. ISBN 954-12-0103-2, София, 2004г.
- [2] Рац Е. Векторно управление на електрически машини, ISBN 978-954-323-630-5, София 2010г.
- [3] Кравец В. Н. Теория автомобиля: учеб. Пособие/В. Н. Кравец. – Нижний Новгород: НГТУ, –2007.
- [4] Тарасик В. П. Теория движения автомобиля. Учебник для вузов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006.

Автор: Чавдар Джамбазки, главен асистент, ВТУ „Тодор Каблешков” София, E-mail adress: djambol1951@abv.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: гл. ас. д-р инж. Тодор Йонов

ОРГАНИЗАЦИЯ И ФУНКЦИИ НА ОБЕДИНЕНАТА ЕЕС НА ПИ ДЖИ ЕМ

Димо Стоилов, Никола Николов, Теодора Терентева

Резюме: За постигане на по-голяма ефективност от мащаба правителството на САЩ следва дългосрочна политика за систематично обединяване координацията на развитието и управлението на функционирането на електропреносните мрежи, съчетано с уедряване на пазарите на електроенергия на едро. В тази статия се разглежда структурата на първата и призната за водеща регионална преносна организация - PJM Interconnection, както и основните функции и услуги, които тя извършва. Статията е начална част от описанието на най-успешния и непрестанно възходящо развиващ се централизиран електроенергиен пазар в САЩ, продължено в [2]-[4].

Ключови думи: обединена електроенергийна система, регионални преносни организации, централизиран електроенергиен пазар на едро

ORGANIZATION AND FUNCTIONS OF PJM INTERCONNECTION

Dimo Stoilov, Nikola Nikolov, Teodora Terenteva

Abstract: To achieve greater economies of scale the Government of the United States of America pursues a long run policy for systematic integration in the development coordination and in the management centralization of the operation of transmission networks, together with consolidation of the wholesale electricity markets. This paper examines the structure of PJM Interconnection - the first and recognized as the leading Regional Transmission Organization, as well as the main functions and the services it provides. The paper is the initial part of a larger description of the most successful and ever upwards evolving centralized electricity market in the United States, which is continued in [2]-[4].

Key words: Integrated Electric Power System, Regional Transmission Organizations, Centralized Whole-sale Electricity Market

I. УВОД

Законът за енергийната политика в САЩ (Energy Policy Act) от 1992 г. и заповеди №888 и №2000 на Федералната комисия за енергийно регулиране (Federal Energy Regulatory Commission - FERC) насърчават формирането на независими системни оператори (Independent System Operators - ISO) и регионални организации за пренос (regional transmission organizations - RTO), които да управляват обединените електропреносни системи, обхващащи територията на множество

щати и да подпомагат развитието на конкурентни пазари на едро. Последваляят интеграционен процес в САЩ и кратката история на PJM Interconnection, L.L.C. са представени в [1]. В тази статия се разглежда организацията на PJM Interconnection, както и основните функции и услуги, които тя извършва. В [2] се представят пазарите за разполагаема мощност, за резерви и за регулиране в PJM, а в [3] пазарите за електроенергия и спомагателни услуги и прилагането на местните (локалните) прирастни цени МПЦ (Locational Marginal Pricing-LMP) в обединената електроенергийна система, оперирана от PJM Interconnection, L.L.C.

II. ОРГАНИЗАЦИЯ НА PJM INTERCONNECTION, L.L.C

Корпорацията с ограничена отговорност PJM Interconnection, L.L.C. е регионална преносна организация - (Regional Transmission Organization - RTO), която координира и отговоря за баланса в управляваната област PJM, обхващаща напълно или частично територията на щатите Delaware, Illinois, Indiana, Kentucky, Maryland, Michigan, New Jersey, North Carolina, Ohio, Pennsylvania, Tennessee, Virginia, West Virginia и the District of Columbia [5]. Районът на PJM обхваща площ от 214 000 квадратни мили, с население от около 58 милиона души, върхов товар от 163 848 MW и 180 400 MW производствена мощност от 1271 генериращи източници, използващи различни видове горива. Годишното потребление на електроенергия достига 728 TWh. Областта обхващаща 61,200 мили преносни мрежи и 3,660 преносни подстанции (с напрежение 69 kV и по-високо), собственост на 19 компании, образуващи следните три региона, обединени чрез Обединяващо Споразумение на собствениците на електропренасянето (The Consolidated Transmission Owners Agreement):

- i) „PJM Mid-Atlantic Region”: Atlantic City Electric Company (AEC), Baltimore Gas and Electric Company (BGE), Delmarva Power and Light Company (DPL), Jersey Central Power and Light Company (JCPL), Metropolitan Edison Company (ME), PECO Energy Company (PECO), Pennsylvania Electric Company (PENELEC), PPL Electric Utilities Corporation (PPL), Potomac Electric Power Company (PEPCO), Public Service Electric and Gas Company (PSEG), и Rockland Electric Company (RE),
- ii) “PJM South Region”: Virginia Electric and Power (Dominion),
- iii) “PJM West Region”: Allegheny Power (APS), Commonwealth Edison Company (including Commonwealth Edison Co. of Indiana) (ComEd); AEP East Operating Companies (AEP), Dayton Power and Light Company (Dayton), Duquesne Light Company (DL), American Transmission Systems, Incorporated (ATSI), Duke Energy Ohio, Inc. and Duke Energy Kentucky, Inc. Company (DEOK).

Всяка една от изредените 19 компании представлява управлявана зона (control zone), наричана още местна управлявана област (local control area) в управляваната област PJM. От своя страна тези компании са в състава на други корпорации или те притежават дъщерни дружества или на тяхна територия има други енергийни дружества. Освен като собственик на пренасянето (Transmission owner) и Оператор на контролна зона (Control zone operator), който планира и дис-

печираща източниците на мощност, енергия, помощни услуги и пренасяне на своята територия, всяка една компания изпълнява и други роли:

- i) Производител (Producer);
- ii) Клиент на пренасяне (Transmission customer), който купува от PJM пренасяне от точка до точка, определено първоначално през 2007 г. и запазено за период от 5 години и после предоговаряно за тригодишни периоди. Условието на това договаряне са еднакви с условията за избиращите клиенти (Eligible Customer), с изключение на правото за запазване на заварените пренасящи способности;
- iii) Електрическа разпределителна компания (Electric Distribution Company - EDC);
- iv) Клиент за препродаване на пазара на дребно (retail power customer), който също е равнопоставен на избиращ клиент;
- v) Предприятие за обслужване на товарите (Load Serving Entity - LSE).

С други думи всяка една компания е едно свършено вертикално интегрирано дружество, което функционира перфектно и няма помисъл да се разтурва заради чужди интереси.

PJM Interconnection, L.L.C. е юридическо лице, което изпълнява самостоятелно или чрез свои дружества, няколко роли: **Администратор на управлявана област (Control Area Administrator), Доставчик на пренасяне (Transmission Provider), Помагач на електроенергийния пазар (Energy Market Supporter) и Уредник на (взаимни) задължения (Settlement Maker).**

PJM не:

- Притежава никакви преносни или производствени активи;
- Функционира като обществено/публично търгувана компания;
- Придобива имуществени права върху електроенергията в системата;
- Извършва реална поддръжка на агрегати или преносни елементи;
- Обслужва пряко крайни клиенти на електроенергия (на едро и на дребно);

PJM:

- Ръководи функционирането/оперирането на преносната система;
- Остава неутрална/неповлияна към/от печалбите (profit neutral);
- Поддържа независимост (independence) от отделните свои членове;
- Координира поддръжката на съоръженията на мрежата;
- Администрира доставянето на преносни услуги и свързаните спомагателни услуги на клиентите (на преносната мрежа);
- Оперира и администрира различните централизирани пазари за електрическа мощност и енергия.

PJM оперира: пазар за следващия ден (Day-Ahead Energy Market); пазар на електроенергия в реално време (Real-Time Energy Market); пазар на мощност, оценявана според модел на надеждността (Reliability Pricing Model (RPM) Capacity Market); пазар за регулиране (Regulation Market); пазарите за синхронизиран и несинхронизиран резерв (Synchronized & Non-synchronized Reserve Markets); пазар за планирания за следващо денонощие резерв (Day Ahead Scheduling

Reserve (DASR) Market) и дългосрочния тържен пазар за финансови права за пренасяне, необходими според годишните и месечни баланси (Long Term, Annual and Monthly Balance of Planning Period Auction Markets in Financial Transmission Rights (FTRs)).

В ролята на клиенти на услугите за пренасяне и при участие в централизираните пазари, компаниите членки влизат в сделки с PJM като насрещен партньор (контрагент) в съответствие с два основни документа: Тарифа на PJM за открит достъп до преносна услуга (Open Access Transmission Tariff - OATT) и Споразумение на обединените собственици на електропренасяне (Consolidated Transmission Owners Agreement – CTOA). В ролята на пазарни участници компаниите могат също да извършват двустранни сделки с други участници на пазара, а също могат самостоятелно да захранват с мощност и енергия собствените си (обслужваните от тях) електрически товари. Такива двустранни и самостоятелни доставки не са сделки с PJM.

За сключване на договори с клиентите и финансово уреждане на задълженията (financial settlements) по отношение на използването на преносната способност на преносната система, PJM е основала PJMSettlement. PJMSettlement е лице, което е търговска страна по споразумения и сделки в централизираните пазари, администрирани от PJM съгласно OATT и Оперативното споразумение (например споразумения и сделки, които не са двустранни споразумения между пазарните участници на пазара или пък за захранване на собствени потребители). PJMSettlement е също партньор на пазарния участник при използване на инструментариума на финансовите права за пренос и правата върху прихода от търга. Всяко следващо двустранно прехвърляне на тези инструменти между пазарните участници изисква съгласието на PJM, но не замесва PJMSettlement като договаряща се страна по отношение на такива последващи двустранни препродажби. PJMSettlement не може да бъде договаряща страна по други, не свързани с преноса по преносната мрежа, сделки, които са: i) двустранни сделки между участниците на пазара (те се съобщават на PJM), и ii) сделки за самостоятелно заангажиране (на собствени производители) или самостоятелно доставяне (на собствени потребители).

Като партньор по CTOA, PJM е придобила правото да използва преносната способност на преносната система, което се изисква за предоставяне на услугата пренос съгласно OATT и правото да препродава преносната услуга, използвайки съответната преносна способност на системата. PJM компенсират компаниите собственици на преносни способности за използване на техните преносни способности чрез поделяне на определени приходи между тях, както е предвидено в OATT и в CTOA. PJM е прехвърлил правото си за ползване на преносната способност и задълженията си за компенсиране на собствениците на преносни способности на PJMSettlement. PJMSettlement изпълнява изработването на сметки и фактури съгласно OATT. Всички разходи за услуги, предоставяни от PJMSettlement в полза на пазарните участници и клиентите на преносната услуга, се включват в плащането за административните услуги.

III. ОБЗОР НА ОСНОВНИТЕ УСЛУГИ В РЕГИОНА НА PJM И ПЛАЩАНИЯТА ЗА ТЯХ

Породените от услугите разходи, включително основни, амортизационни, лихвени, и други финансови се възстановяват от ползвателите на различните услуги, които PJM продава по установените в Open Access Transmission Tariff (OATT) цени. От ползвателите тези плащания се прехвърлят и стават част от цените при крайните консуматори на електроенергия в регионите на PJM.

III.1. УСЛУГА ЗА АДМИНИСТРИРАНЕ НА УПРАВЛЯВАНАТА ОБЛАСТ (CONTROL AREA ADMINISTRATION SERVICE)

Услугата за администриране на управляваната област включва всички дейности на PJM, свързани с опазването на надеждността на региона и администриране на услугите за пренос от точка до точка, както и за обединяване на електроенергийните системи.

За услугата пренос от точка до точка и за дейностите по обединяването PJM задължава всеки ползвател на тези услуги с еднакво за всички подобласти месечно плащане, което е равно на месечно доставеното количество енергия (включително загубите) умножено по цената за тази услуга, например от 1 Октомври 2011 тя е \$0.1692 за MWh.

III.2. УСЛУГА ЗА АДМИНИСТРИРАНЕ НА ФИНАНСОВИТЕ ПРАВА ЗА ПРЕНОС - ФПП (FINANCIAL TRANSMISSION RIGHTS ADMINISTRATION SERVICE)

Услугата за администриране на финансовите права за пренос включва всички дейности на PJM, свързани с администриране на ФПП в т.ч. администриране на търговете, координиране на двустранната търговия, поддържане на on-line Internet платформа eFTR и пр. PJM задължава всяка компания, която притежава или която предлага, или която купува ФПП с месечно плащане от две съставни плащания, цените за които от 1 Октомври 2011 г. насам са \$0.0025 за MWh и \$0.0017 за час.

III.3. УСЛУГА ЗА ПОДДЪРЖАНЕ НА ПАЗАРА (MARKET SUPPORT SERVICE)

Услугата за поддържане на пазара включва всички дейности на PJM, свързани с поддържането на функциониращ междусистемен пазар за електроенергия, в т.ч. създаване на графици за обмен, поддържане на система за графици eSchedules, пазарен модел и цени, уреждане на взаимни задължения, уреждане на сметки, надзор върху пазара.

За услугата поддържане на пазара PJM задължава всеки ползвател на тази услуга с месечно плащане, което се състои от две съставни плащания, цените за които от 1 Октомври 2011 г. насам са \$0.0373 за MWh и \$0.0558 за час.

III.4. Услуга за администриране на регулирането и отзива (към измененията) на честотата (Regulation and Frequency Response Administration Service)

Услугата за администриране на регулирането и отзива (към измененията) на честотата включва всички дейности на PJM, свързани с администриране и доставяне на регулиране и честотен отзив за предприятията, които обслужват клиенти и за производителите, които доставят услугата. PJM задължава всеки полз-

вател на тази услуга с месечно плащане на цената, която от 1 Октомври 2011 г. насам е \$0.2271/MWh, умножена по сумираните за месеца MWhs, с които ползвателят е бил обслужен, в т.ч. собственото регулиране на агрегатите на ползвателя.

III.5. Услуга за (разполагаема) мощност и управление на задълженията (Capacity Resource and Obligation Management Service).

Тази услуга включва всички дейности на PJM свързани с: (i) осигуряване, че клиентите са уредени с достатъчна разполагаема мощност за задоволяване на техните нужди според споразумението за осигуряване на надеждността (Reliability Assurance Agreement-RAA); (ii) извършване на услугата пренос по обединена мрежа (Network Integration Transmission Service); (iii) администриране на търгове с модел за оценяване според надеждността (Reliability Pricing Model auctions) и (iv) администриране или техническа помощ по споразумението за надеждност, в т.ч. дългосрочно прогнозиране, проучвания за установяване на необходимия резерв, определяне задълженията за мощност на всяко предприятие за обслужване на клиенти, поддържане на Internet платформа eCapacity за извършване на дейностите по тази услуга. Цената за услугата от 1 Октомври 2011 г. насам е: \$0.0864 за MW-day.

III.6. ОСВЕН ПЛАЩАНИЯ ЗА ПОСОЧЕНИТЕ В III.1 ДО III.5 услуги PJM събира плащания и за разходите:

i) по (изграждане, наемане на техника и обзавеждане, и опериране на) втория усъвършенстван управляващ център (Costs of PJM Advanced Second Control Center), който е започнал да функционира от 9 ноември 2011 г.;¹

ii) за възстановяване на годишните плащания, които PJM дължи на федералната регулаторна комисия за нейна издръжка;

iii) за създаването на корпорацията Организация на щатите PJM (Organization of PJM States, Inc. – OPSI), която се финансира чрез плащанията на клиентите за пренос;

iv) за обезпечаване на функциите по надзор на пазара в региона;

v) за FINCON, които са определени за покриване на разходите за външни консултанти, назначени от комитета по финансите;

vi) за дейността уреждане на взаимните задължения;

vii) за възстановяване на годишните плащания, които PJM дължи на Североамериканската корпорация за надеждно електроснабдяване (North American Electric Reliability Corporation - NERC) за нейната издръжка;

viii) за възстановяване на годишните плащания, които PJM дължи на първата корпорация за надеждно електроснабдяване (ReliabilityFirst Corporation - RFC) за издръжката на тази регионална организация на NERC;

¹ PJM е единственият регионален оператор за пренос на електроенергия в Северна Америка с два управляващи центъра. Първият се намира във Valley Forge, Pennsylvania. Той също се модернизира, но разходите са по друга схема. И двата са обзаведени от Siemens.

ix) за плащане на разходите на международната преносна компания за нейния трансформатор с регулиране на ъгъла в централа Bunce Creek на междусистемния електропровод Michigan-Ontario;

x) за усилване на мрежата, които предприятието PJMSettlement събира от името и за сметка на съответния собственик на пренос, направени за усилване на мрежата;

xi) за разширяване на мрежата, които предприятието PJMSettlement събира от името и за сметка на AEP East Operating Companies, Commonwealth Edison Company, и на The Dayton Power and Light Company.

III.7. ОСВЕН ПЛАЩАНИЯ ЗА ИЗРЕДЕНИТЕ ПО-ГОРЕ УСЛУГИ PJM Settlement събира плащания:

a) от изкупилите дялове от преносна способност ползватели на пренасянето за търговия Neptune (частен електропровод за пренос), които прехвърля на собственика на пренасянето Neptune.

b) от ползвателите на преноса за търговия **Linden VFT Transmission** (частен управляем електропровод за пренос построен в Linden, New Jersey), които прехвърля на собственика на пренасянето Linden VFT, LLC.

IV. ОБЗОР НА СЧЕТОВОДСТВО, СМЕТКИ И ПЛАЩАНИЯ

Счетоводството, сметките и плащанията са координирани процеси, извършвани в съответствие с условията в Оперативното споразумение и ОАТТ. Подробностите са дадени в съответни ръководства, разполагаеми на

<http://www.pjm.com/documents.aspx>. Тук показваме само кратък обзор.

Отчетните сметки се издават седмично и месечно в електронен PDF формат чрез системата за докладване на сметки MSRS. Сметките съдържат дължимите плащания или кредити и съответните прихващания.

Основните услуги и плащанията за тях бяха обобщено представени по-горе, а тук представяме пълния списък на плащанията (charges) и вземанията (credits) за:

- регионално (PJM) планиране, предварително диспечирание, диспечирание и управление в реално време: i) плащания и ii) изравнителни плащания (load reconciliation charges) (заради разлики между фактическите товари на разпределителни компании и използваните прогнозни товари по време на диспечирането, вместо товари в реално време);

- (отделно) системно (в рамките на един оператор на преносна мрежа-ОПМ) планиране, предварително диспечирание, диспечирание и управление в реално време: i) плащания или вземания и ii) изравнителни плащания (load reconciliation charges) (заради разлики между фактическите товари на разпределителни компании и използваните прогнозни товари по време на диспечирането, вместо товари в реално време);

- реактивна енергия и регулиране на напрежението (Reactive Supply and Voltage Control): плащания или вземания (към производители или други доставчици);

- услуга енергиен небаланс (Energy Imbalance Service): плащания или вземания;
- услуга пренос през обединена мрежа (Network Integration Transmission Service): плащания или вземания;
- компенсиране на услуга пренасяне през обединена мрежа (Network Integration Transmission Service Offset): плащания или вземания;
- услуга пренасяне през обединена мрежа при ниско напрежение в мрежата на ATSI (Network Integration Transmission Service (ATSI Low Voltage)): плащания или вземания;
- пряко назначени съоръжения (Direct Assignment Facilities): плащания или вземания;
- други поддържащи Съоръжения (Other Supporting Facilities): плащания/вземания;
- гарантирано пренасяне от точка до точка (Firm Point-to-Point Transmission Service): плащания/вземания;
- негарантирано пренасяне от точка до точка (Non Firm Point-to-Point Transmission Service): плащания/вземания;
- пускане от тъмно и захранване на мрежа (Black Start Service): плащания/вземания;
- възстановяване на разходи по разширяване (Expansion Cost Recovery): плащания/вземания;
- възстановяване на разходи за регионално пускане (RTO Start-up Cost Recovery): плащания/вземания;
- деактивиране на производства (Generation Deactivation): плащания/вземания
- PJM Settlement, Inc. плащания;
- Плащания и уравнителни плащания за отдела по мониторинг на пазара (Market Monitoring Unit - MMU charges, and load reconciliation charges);
- Плащания и уравнителни плащания за федералната комисия за енергийно регулиране (FERC charges, and load reconciliation charges);
- Плащания и уравнителни плащания за корпорацията Организация на щатите PJM (OPSI charges, and load reconciliation charges);
- Плащания и уравнителни плащания за Североамериканската корпорация за надеждно електроснабдяване (North American Electric Reliability Corporation – NERC charges, and load reconciliation charges);
- Плащания и уравнителни плащания за регионалната организация на NERC (ReliabilityFirst Corporation – RFC charges, and load reconciliation charges);
- Плащания/вземания на търговете за регионална надеждност (RPM Auction);
- Плащания за местна надеждност (Locational Reliability);
- Плащания за надеждност към прекъсваеми консуматори (Interruptible Load for Reliability);
- Вземания за права за прехвърляне на мощност (Capacity Transfer Rights);

- Вземания за прирастни права за прехвърляне на мощност (Incremental Capacity Transfer Rights);
- Плащания/вземания за специфични сделки за мощност не от агрегати (спестена разполагаема мощност) (Non-Unit Specific Capacity Transaction);
- Плащания/вземания за пропаднали изпитания за агрегати (Generation Resource Rating Test Failure);
- Плащания/вземания за недостиг при източник на мощност (Capacity Resource Deficiency);
- Плащания/вземания за глоби при поддръжка/ремонти по време на сезонния връх (Peak Season Maintenance Compliance Penalty);
- Плащания/вземания за разполагаемост по време на върхов час (Peak-Hour Period Availability);
- Плащания/вземания за спазване и неспазване на разпоредени намаления при прекъсваеми товари (Interruptible Load for Reliability - ILR Demand Resource and Compliance Penalty);
- Плащания/вземания за спазване и неспазване на удостоверени подобрения на пренасянето (като източник на спестена мощност) (Qualifying Transmission Upgrade Compliance Penalty);
- Плащания/вземания за пропаднали изпитания за управляване на товари (Load Management Test Failure).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложени са организацията и основните функции на PJM Interconnection, както и услугите, които тя предоставя на своите клиенти - 19 електроенергийни компании, членки на обединената електроенергийна система. PJM Interconnection координира развитието и ръководи функционирането/оперирането на преносната система на територията на 14 щата. Организацията поддържа независимост от отделните свои членове, като предпоставка за тяхната равнопоставеност. PJM Interconnection координира поддръжката на съоръженията на мрежата, администрира доставянето на преносни услуги и свързаните спомагателни услуги на клиентите на преносната мрежа, оперира и администрира централизираните пазари за разполагаема мощност, резерви, регулиране, електроенергия и спомагателни услуги.

Представен е обзор на събираните от PJM Interconnection плащания за разходите по предоставените услуги на клиентите на преносната мрежа, както и такива свързани с разходи на компаниите членки и надзираващи организации, които също трябва да бъдат възстановявани от клиентите на преносната мрежа. Статията е част от проучване на пазарите на едро и дребно в обединената електроенергийна система на региона, наричан за краткост PJM.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Стоилов Д., Н. Николов, Т. Терентева, Регионално обединяване на електроенергийните пазари в САЩ, Научна конференция „ЕФ 2014“, Сборник доклади, Созопол 2014
- [2]. Стоилов Д., Н. Николов, Т. Терентева, Регионален пазар на едро: примерът на PJM. Част първа - пазар за разполагаема мощност, резерви и регулиране, сп. Енергетика, 2014, под печат
- [3]. Стоилов Д., Н. Николов, Т. Терентева, Регионален пазар на едро: примерът на PJM. Част втора - пазар за електроенергия с местни прирастни цени, сп. Енергетика, 2014, под печат
- [4]. Стоилов Д., Н. Николов, Т. Терентева, Пазар за електроенергия на дребно в PJM: примерът на Duke Energy Ohio Inc., сп. Енергетика, 2014, под печат
- [5]. <http://www.pjm.com>
- [6]. Zhenyu Fan, Horger T., Bastian J., Current and emerging challenges in PJM energy market, Transmission and Distribution Conference and Exposition, IEEE PES, 2010

Автори: Димо Георгиев Стоилов, доц. д-р, катедра „Електроенергетика“, Електротехнически Факултет, Технически Университет-София, E-mail adress: dstoilov@tu-sofia.bg ; Никола Неделчев Николов, маг. инж., асистент, катедра „Електроенергетика“, Електротехнически Факултет, Технически Университет-София, E-mail adress: n_nikolov@tu-sofia.bg ; Теодора Николаева Терентева, маг. инж., докторант в катедра „Електроенергетика“, Електротехнически Факултет, Технически Университет-София, E-mail adress: terenteva@tu-sofia.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент доц. д-р инж. Валентин Колев

ЧАСТИЧНИ РАЗРЯДИ

Петър Наков

Резюме: Частичните разряди възникват в зоните от обема на изолационните конструкции с нарушаване на еднородната структура на електрическата изолация. Оценката на опасността от пробив в електрическата изолация на съоръжението се прави на базата на големината на сигнала измерен от частични разряди и скоростта на промяна. В работата са систематизирани основните елементи в процеса на измерване на частични разряди.

Ключови думи: частични разряди; измерване; неопределеност.

PARTIAL DISCHARGES

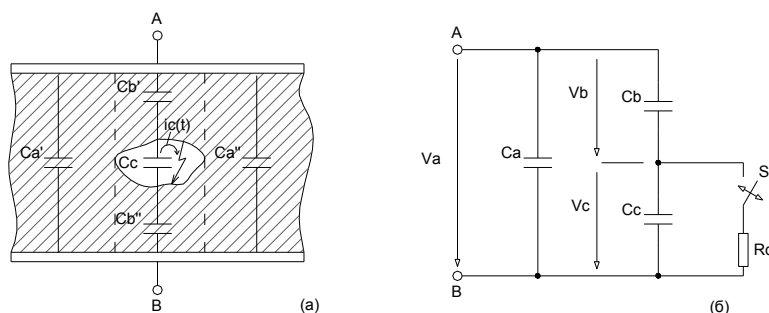
Petar Nakov

Abstract: PD occur in areas of the volume of the insulation structures with the violation of the uniformity of the electrical insulation. Hazard assessment for violating the electrical strength of the unit is made based on the size of the signal measured by partial discharges and the rate of change. In the work are summarized key elements in the process of measuring the discharge.

Keywords: partial discharge; measurements; uncertainty.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Частичните разряди са електрически разряд в част от изолационна конструкция между електроди с различен потенциал. На фиг.1,а е илюстрирана общо известната схема на диелектрик между два електрода А и В, и дефект означен с неговия капацитет C_c , а на фиг.2,б - заместващата схема със съсредоточени параметри [1]. Електрическото поле в разрядната междина на дефекта зависи от диелектричната проницаемост и форма на включването.



Фиг.1. (а) диелектрик, съдържащ газово включване (б) заместваща схема.

Обикновено електрическата якост на включването е по-малка от електрическа якост на заобикалящата изолация. При подаване на напрежение на изводите на обекта кондензаторът C_c се зарежда. При достигане на разрядното напрежение, натрупаните заряди на капацитета на включването C_c се неутрализират чрез лавинен стадий на разряда. Токът на разряда не може да бъде измерен директно. Той има малко време за нарастване на импулса $1 \div 5$ ns с продължителност $20 \div 50$ ns. Процесът на зареждане на капацитета на включването и възникване на частичен разряд е повторям с честота зависеща от обемните проводимости и вида на изолационната конструкция и скоростта на промяна на приложеното напрежение.

В заместващата схема с $C_b = C_b' C_b'' / (C_b' + C_b'')$ е означен капацитета на включването към изводите на обекта. Капацитетът на обекта е останалата част от електрическата изолация $C_a = C_a' + C_a''$. Големината на капацитетите е в съотношение

$$C_a \gg C_c > C_b . \quad (1)$$

На фиг.1,б ключът S е разрядник, чието състояние зависи от напрежението V_c върху капацитета на включването C_c . Той е затворен само за много кратък интервал, когато протича токът на лавината $i_c(t)$. Резисторът R симулира активните загуби на енергия при протичане на $i_c(t)$. Когато изводите на включването са заредени до напрежение V_c възникват условия за развитие на разряд, а ключът S се затваря. Ако S е затворен, токът $i_c(t)$ пренася заряд $\delta q = C_c \delta V_c$ от кондензатора C_c , а вълната на тока се разпространява в системата електроди на изолационната конструкция. Падът на напрежението на изводите δV_a при малки обекти без да се отчитат вълновите процеси се изчислява със зависимостта

$$\delta V_a = \frac{C_b}{C_a + C_b} \delta V_c . \quad (2)$$

Този пад на напрежение е пропорционален на заряда $\delta q_c = C_b \delta V_c$, величина свързана с големината на дефекта. Капацитетът C_b се увеличава с увеличаване големината на включването напречно на силовите линии на електрическото поле, а δV_c - с дължината му тангенциално на електрическото поле.

Падът на изводите на обекта δV_a може да се измери. Амплитудата е малка, тъй като разрядното напрежение в дефекта δV_c е в диапазона 100 до 1000 V, а големината на напрежението пренесено на изводите е от порядъка на няколко миливолта до няколко волта.

Като абсолютна стойност приложеното напрежение V_a е много по-голямо от δV_c и отношението $\delta V_c / V_a$ е от порядъка на $10^{-3} \div 10^{-5}$.

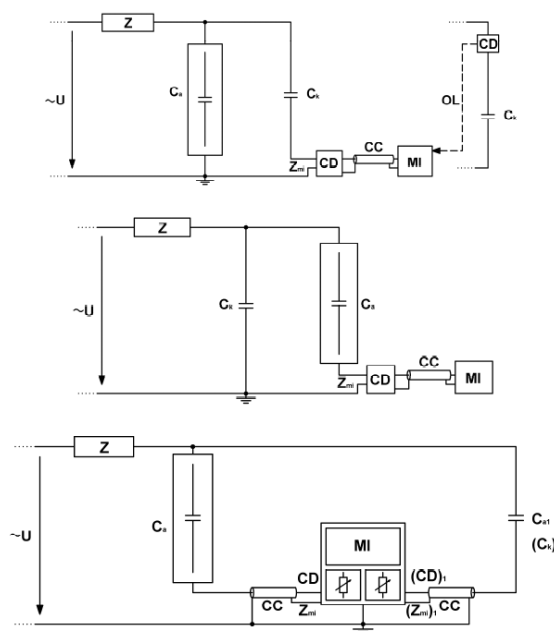
Поради малките стойности на сигнала директното измерване на промяната на напрежението от възникване на частични разряди се затруднява от наличието на електрически шум.

2. СХЕМИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ЧАСТИЧНИ РАЗРЯДИ

Уредите за измерване на частични разряди изпълняват изискванията на IEC 60270, Раздел 4., IEEE Std C57.124, IEEE C57.113, IEEE P1434/D1.1, IEEE C57.113, IEEE Std 400.3, Раздел 5., и са част от системата за измерване.

Уредите за измерване на частични разряди (означени като MI в IEC 60270) може да се класифицират в зависимост от начина на интегриране сигнала – интегриране в честотни интервали или интегриране във времеви интервали.

Основната деформация на сигнала се осъществява във входния филтър или интегриращ блок на уредите за измерване на частични разряди. Причина за ограничаване на честотния диапазон е подобряването на отношението „сигнал от частични разряди“ и „несинхронен електрически шум“. Този подход е приложим при измерване на частични разряди в лабораторни условия.



Фиг.2.

В съответствие със стандарт БДС EN 60270:2003 [2] схемите за измерване на частични разряди съдържа следните компоненти фиг.2:

- C_a Обект;
- C_k Свързващ кондензатор;
- MI Уред за измерване;
- Z_{mi} Входен импеданс на уред за измерване;
- Z Филтър на захранващия източник;
- CC Коаксиален свързващ кабел;
- OL Оптичен свързващ кабел;
- CD Свързващ четириполусник.

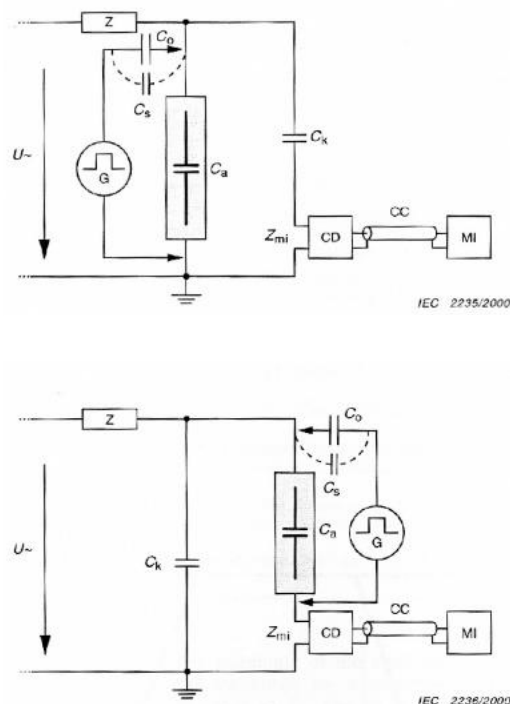
Действителните времеви и честотни зависимости на сигнали от частични разряди може да се определят чрез измерване в широк честотен диапазон до $1 \div 2$ GHz, което не деформира честотната лента на оригиналния сигнал до < 1 GHz. Конвенционалните уреди за измерване имат лента на пропускане на входния филтър или интегриращ блок в тесен честотен диапазон - 10 kHz, широк диапазон - 100÷500 kHz и ултра широк диапазон до 100 MHz. Високо честотните и

ултрависоко честотните измервателни устройства имат лента на пропускане от 100 MHz до 10 GHz. Това позволява да се анализират всички сигнали, да се приложат техники на разпознаване на образи (формата на импулсите) и да се реализира разпознаване и точно измерване на частични разряди с големина по-малка от електрическия шум. Използването на цифрови осцилоскопи за измерване на сигналите от електрически съоръжения с честотна лента до 1 GHz е достатъчно без да се загубва информация за формата големината и вида на сигнала от частични разряди.

3. КАЛИБРИРАНЕ

Калибриране на схемата на измерване на привиден заряд q , се осъществява като се инжектира токов импулс от калибратор, както е описано в тока 6.2 на стандарта [2], на изводите на изпитвания обект. Калибрирането трябва да се извършва на един обхват в съответния диапазон на очакваната стойност, за да се осигури добра точност за конкретната големина на ЧР.

Тъй като капацитетът C_0 на калибратора е за ниско напрежение, калибрирането на цялостната изпитателна схема се осъществява при не захранен изпитвателен обект. За валидно калибриране, калибрационният кондензатор C_0 трябва да е по-голям от $0,1 C_a$. Ако изискванията за калибратора са спазени, калибрационният сигнал е еквивалентен на еднократен разряд с големина $q_0 = U_0 C_0$.



Фиг.3. Схеми на калибриране на система за измерване на частични разряди.

Преди да се подаде захранващо напрежение, C_0 трябва да се отстрани от схемата. Ако C_0 е за високо напрежение и има достатъчно ниско ниво на шума за да позволи измерването на конкретното ниво на ЧР при определеното изпитвателно напрежение, той може да остане свързан във схемата.

В случай на няколко метра висок изпитвателен обект, инжектиращият кондензатор с капацитет C_0 се свързва в близост до извода високо напрежение на из-

питвателния обект тъй като паразитният капацитет C_s може да внесе грешка в измерването. Свързващият кабел между калибратора и кондензатора C_0 трябва да е екраниран и снабден с подходящи изводи и съгласуван с вълновото съпротивление на обекта за избягване на деформация на сигнала от многократно отражение на вълната.

4. НЕОПРЕДЕЛЕНОСТ ПРИ ИЗМЕРВАНЕ НА ЧАСТИЧНИ РАЗРЯДИ

Моделът на процеса на измерване се представя със зависимостта на измерения привиден заряд от елементите и режима на измерване. Измереният сигнал от частични разряди е пропорционален на големината на пренесения заряд от мястото на източника до измерителния уред.

$$q = \frac{C_a + C_k}{C_k} K_G R_{in} \int i(t) dt + Q_{noise} \quad (3)$$

Средноквадратична неопределеност на входните величини тип "В" и коефициентът на чувствителност за отделните компоненти са дадени в табл.1.

Таблица 1

Елемент	Компоненти на неопределеност	Оценка на входните величини	Коефициент на чувствителност	Средноквадратична неопределеност на входните величини Тип "В"
Градуиращ генератор	Привиден заряд	Q_g	1	u_g
Електрически шум	Големина	Q_{noise}	1	$u_{noise} = \sqrt{\left(\frac{t\sigma_r}{\sqrt{n}}\right)^2 + u_g^2}$
Свързващ кондензатор	Големина	C_k	$-\frac{C_a}{C_k^2}$	u_C
	Абсолютна температура	$C_k(T) = C_{k20}(1 + \alpha_{Ck}T)$	$C_{k20}\alpha_{Ck}$	$u_{CT} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left \frac{C_k(\Delta T_{max})}{C_k(T_{20})} - 1 \right $
Съгласуващ резистор	Големина	R_{in}	1	u_R
	Абсолютна температура	$R_{in}(T) = R_{in20}(1 + \alpha_{Rin}T)$	$R_{in20}\alpha_{Rin}$	$u_{RT} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left \frac{R_{in}(\Delta T_{max})}{R_{in}(T_{20})} - 1 \right $
Измерителен уред	Нелинейност на усилването	K_G	1	u_{K_G}

Ако са известни данни за неопределеността на входните величини, „Свързващ кондензатор“, „Съгласуващ резистор“, „Коефициент на усилване на Измерителен уред“ определени по резултатите от калибрирането им, е възможно да се оцени комбинираната неопределеност от тип „В“. Комбинираната средноквадратична неопределеност от тип „В“ е

$$u_{sysB(xpC)} = \sqrt{\left[Q_{g(xpC)} \sqrt{\left(\frac{u_{g(xpC)}}{Q_{g(xpC)}}\right)^2 + \left(\frac{C_a}{C_k^2} \frac{u_{Ck}}{C_k}\right)^2 + (\alpha_{Ck} u_{CT})^2 + \left(\frac{u_{Rin}}{R_{in}}\right)^2 + (\alpha_{Rin} u_{RT})^2 + \left(\frac{u_{K_G}}{K_G}\right)^2} \right]^2 + [u_{noise}]^2} \quad (4)$$

5. ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Неопределеността при измерване на частични разряди може да се намали като се използват методите за разпознаване и отделяне на сиглите от частични разряди от смесения сигнал с електрически шум.

Повишаването на чувствителността при измерване в експлоатационни условия е възможно при наличие на четири канални системи за синхронно регистриране на сигналите от частични разряди и локация на мястото на източника в обема на изолационната конструкция.

Използването на системи за измерване на сигналите от частични разряди с честотна лента до 1 GHz е достатъчно без да се загубва информация за формата, големината и вида на сигнала от частични разряди.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kuffel E., W. S. Zaengl, J. Kuffel. High Voltage Engineering Fundamentals. Newnes, Oxford, 2000
- [2] БДС EN 60270:2003 Методи за изпитване с високо напрежение. Измерване на частични разряди (IEC 60270:2000)

Автор: Петър Наков, доцент д-р, катедра „Електроенергетика“, Електротехнически Факултет, Технически Университет-София, E-mail adress: pnaikov@tu-sofia.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Антоанета Годорова

УПРАВЛЯЕМИ ШУНТОВИ РЕАКТОРИ

Даниел Добрилов

Резюме: В настоящата статия се разглежда разработен, трифазен управляем шунтов реактор, както и някои особености при проектирането на подобни съоръжения. Създаден е математически модел на УШР в програмна среда FEEM 4.2, който е използван, като база изработване на физическия образец. Предвид липсата на опит от създаването и приложението на подобни съоръжения у нас, целта е чрез изследвания на създадения физически образец да се пристъпи към по-нататъшното приложение на тези устройства.

Ключови думи: управляем шунтов реактор, FEEM

VARIABLE SHUNT REACTORS

Daniel Dobrilov

Abstract: This paper investigates at the detail design of a three-phase Variable Shunt Reactor (VSR). In the paper, a mathematical model of VSR is developed in FEEM 4.2, which is used as a base to develop the full scale prototype. The paper aims to conduct an investigation via simulations and testing of the full scale prototype in order to explore the potential capability of VSR.

Key words: Variable Shunt Reactor, FEEM

1. НЕОБХОДИМОСТ И ЦЕЛИ

Последните години у нас масово се присъединяваха „възобновяеми източници“ на електрическа енергия към разпределителната мрежа. Това се случи заради липсата на технически компетентни кадри в част от разпределителните предприятия, от една страна и от „някои икономически интереси“ от друга. В следствие, на това се стигна до значително повишение на напрежението в някои точки на мрежата. Като резултат - много съществуващи МВЕЦ в определени часове на денонощието работят в „гранични“ режими, а потребителите се захранват с некачествена електроенергия. Също така у нас се въведе регламент, според който „върнатата“ реактивна енергия в мрежата, трябва да се заплаща на цени в пъти по-високи от консумираната, от потребителите с присъединена мощност по-голяма от 100kW [6].

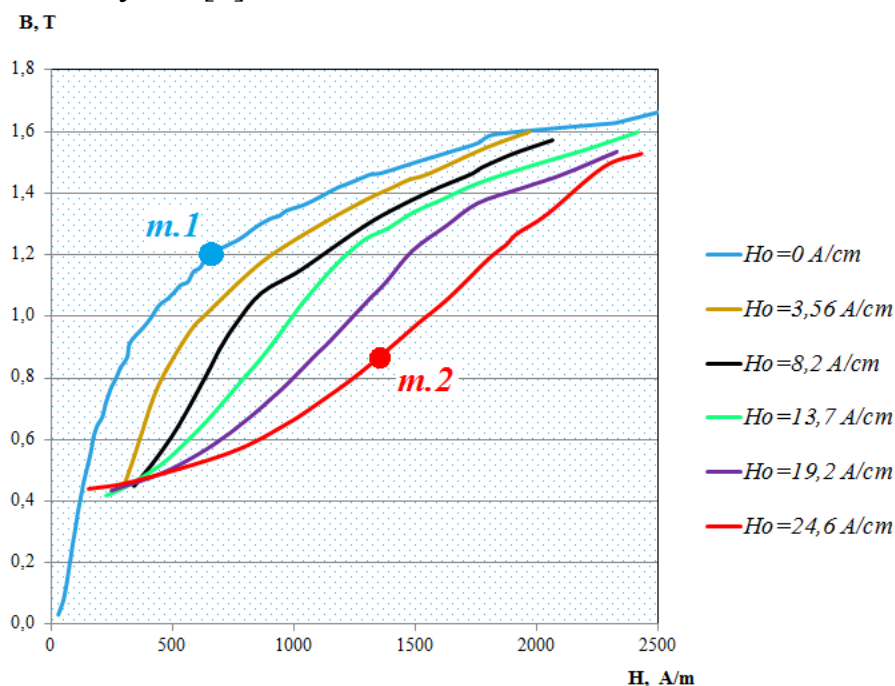
Изброените в литературата варианти за регулиране на реактивната капацитивна мощност не дават достатъчно задоволителни резултати. Това води до необходимост от създаване на приложимо в практически аспект и относително евтино

устройство, което да дава възможност за плавно компенсиране на реактивната капацитивна енергия в мрежи ниско и средно напрежение. Навивайки още една (две) намотка върху магнитопровода на шунтов реактор, на която се подава „постоянен ток“, чрез подмагнитване на ламарината може плавно да се регулира мощността на компенсатора.

В настоящата статия се разглежда – разработен трифазен управляем шунтов реактор, както и някои от особеностите при конструирането му. Целта е, изследвайки създадения образец да се открият недостатъците на предложеното решение. Това от своя страна ще послужи за основа при разработката и производство на съоръжения, които да бъдат въведени в експлоатация с цел регулиране на нивото на напрежение в токите на присъединяване на малки ВЕЦ присъединени към линии средно напрежение.

2. МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ

За да се моделира замисленото съоръжение в установен режим на работа е създаден 2D стационарен модел в програмна среда FEEM 4.2. Моделирането е извършено в тази среда поради това, че програмата е безплатна за разлика от пакетите за 3D моделиране. Това разбира се води и до по-голяма грешка в изчисленията в някои случаи [7].

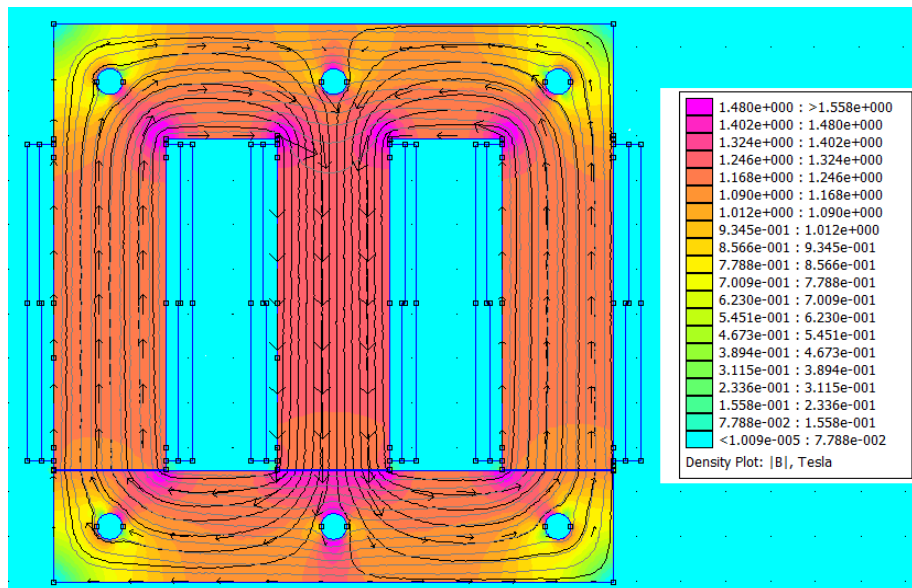


Фиг.1. Намагнитващи характеристики на използваната електротехническа ламарина.

За направа на възможно по-точен образец са снети опитно намагнитващите характеристики на електротехническата ламарина, при намагнитване с променлив ток с промишлена честота, както и при едновременно намагнитване с променлив и постоянен ток.

Избрана е стандартна „Ш“ образна ламарина. Изчислена е приблизително необходимата немагнитна междина за осигуряване на необходимата мощност в ре-

жим без управление. Избран е предварителен брой навивки за всяка намотка, след което след няколко итерации е постигната необходимата мощност. Трябва да се има предвид, че при тази конструкция на магнитопровода средната фаза трябва да има различен брой навивки, спрямо крайните две. Това се дължи на факта, че магнитните силови линии на крайните фази са с по-голяма дължина, а от тук и токовете през тях. Конструкцията на компенсатора е начертаната във формат *.dxf, след което е импортирана в програмата. Зададени за отделите материали, от които е изработен компенсатора и останалите входни данни.



Фиг.2. Индукция в магнитопровода в установен режим.

Предвид факта, че в модела се изследва установен режим на работа са моделирани само силовата и компенсационната намотки. Няма да се разглеждат принципите на работа на програмата и въведените формули за изчисление в нея.

В табл.1 е показано сравнение между изчислените и измерените стойности, за реактивната мощност на компенсатора.

Таблица 1

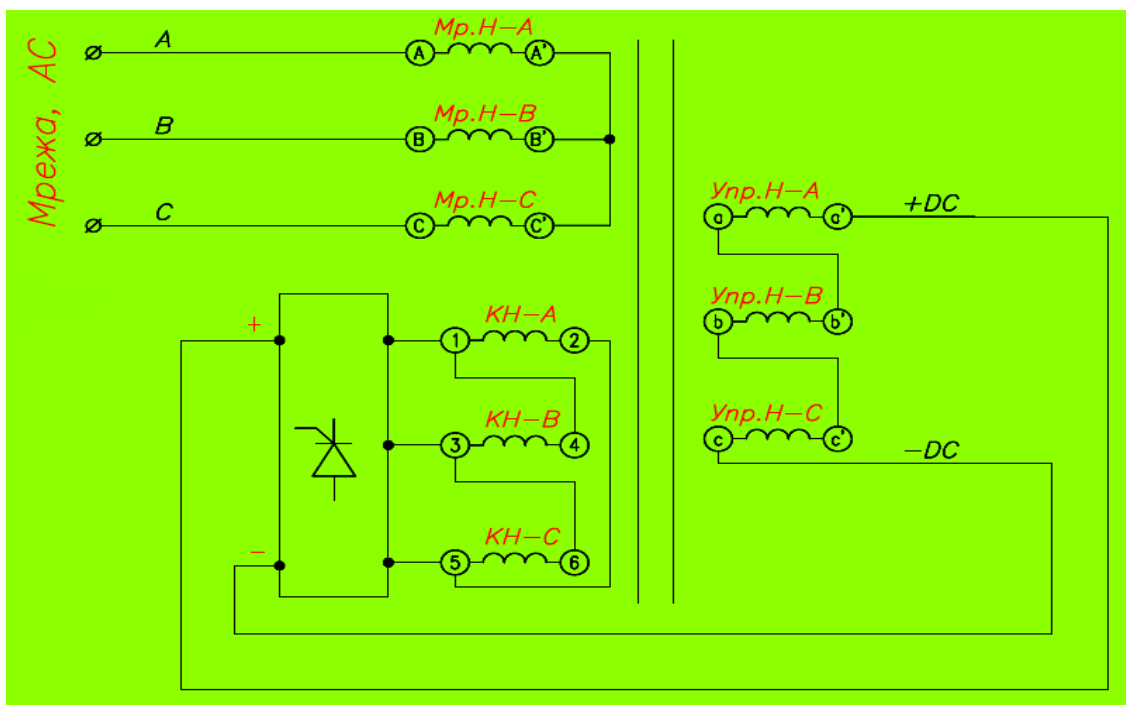
Реактивна мощност, VAr	№	Модел <i>FEEM</i>	Физически модел	Относителна грешка %
	Фаза А	248,74	254	2,07
	Фаза В	249,39	259	3,71
	Фаза С	247,61	256	3,28

Относителната грешка е в допустимите граници и може да се дължи на следните фактори:

- Разлика между зададената и физическата немагнитна междина (почти невъзможно е да бъде измерена на реалния компенсатор);
- Неточност на модела;
- Различна ламарина на магнитопровода от представената мостра;
- Грешка в броя навивки на физическия образец;

3. КОНСТРУКЦИЯ

Компенсаторът е изработен от стандартен триядрен „Ш“ образен магнитопровод, за силови трансформатори НН. Поради затруднения от производствена гледна точка, е направен с една немагнитна междина, независимо от факта, че това е най-неблагоприятния вариант. На всяко ядро са навити по три намотки от меден проводник. За направа на електромагнитните изчисления на компенсатора са използвани методите описани в [1,3,5]. За да бъде оразмерен магнитопроводът на съоръжението трябва да бъдат снети намагнитващите характеристики на ламарината, фиг.1. Работната област на компенсатора се фиксира между точките 1 и 2. Първата точка е при липса на управляващ ток. Избира се в областта на „коляното“ на характеристиката.



Фиг.3. Електрическа схема на компенсатора.

Както се вижда от фиг. 1, при увеличение на индукцията (m . 1) ще се намали интервала на регулиране, тъй като ще се намали разликата на напрегнатостта на магнитното поле между m .1 до m .2. Ще се промени и магнитната проницаемост на материала, а от там и индуктивността и тока в мрежовата намотка. От друга страна при по-висока индукция в установен режим ще имаме по-малък обем на магнитопровода. В литературата се дават указания за избор на място на точка 2, но той е относително произволен.

Броят на навивките на силовата намотка се избира така, че да се получи желаната индукция в режим без управление. Сечението и трябва да бъде оразмерено за режим на максимална мощност (при максимален управляващ ток). Силовата намотка се свързва към мрежата, тя е в схема звезда, без изведена ну特拉.

Броят на навивките на управляващата намотка може да се избере след като се определи точка 2, от там и необходимата напрегнатост на постоянното магнитното поле, при което може да бъде изчислен броя на навивките при определен управляващ ток. Намотката е свързана в схема отворен триъгълник, за да се „неутрализира“ индуктираното в нея напрежение.

Предвиждат се и изследвания в режим с пофазно управление, като броя навивки на всяко ядро е съобразен, така че да е възможно управляващия ток да се регулира с полупроводникови прибори за НН (индуктираното във всяка фазова намотка напрежение да бъде в определени граници).

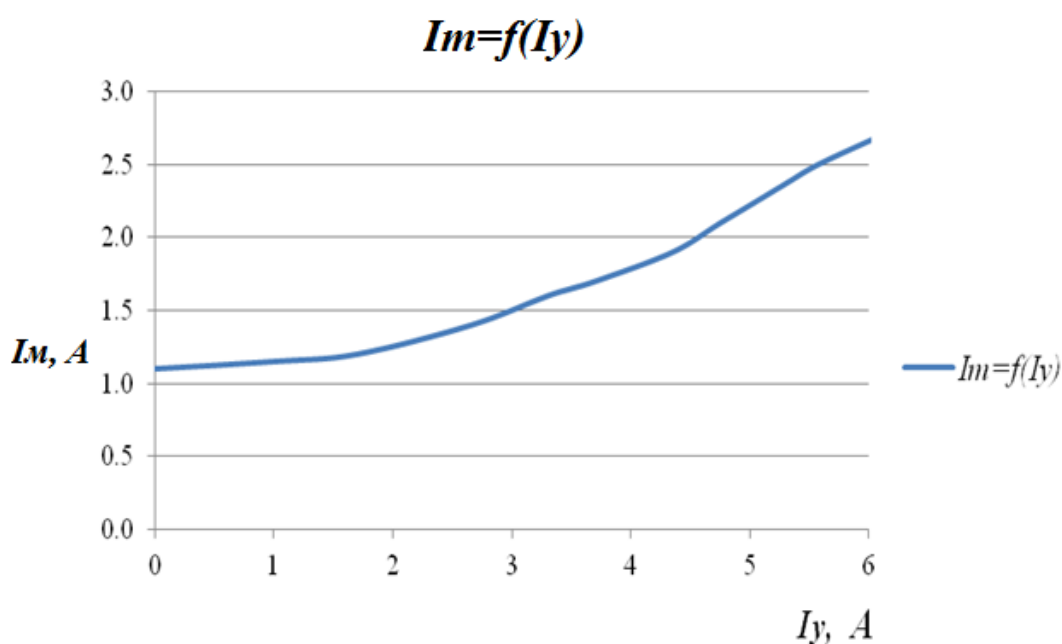
Броят на навивките в компенсационната намотка е избран така, че амплитудата на индуктираното в нея напрежение да е достатъчно за осъществяване на управление.

Компенсационната намотка е в схема триъгълник, като от през управляем изправител се регулира тока в управляващата намотка в зависимост от заложения алгоритъм за управление. Разработения управляем изправител и системата за управление ще бъдат разгледани в отделен доклад.

Сечението на всички намотки е избрано по допустима плътност на тока.

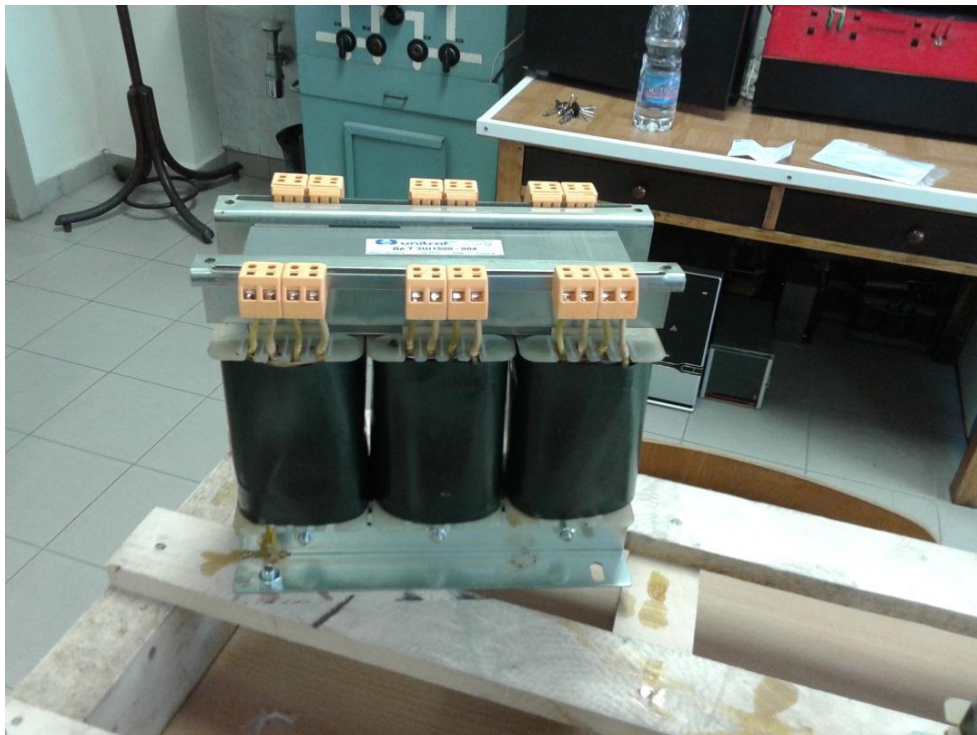
4. ФИЗИЧЕСКИ ОБРАЗЕЦ

Разработеният управляем шунтов реактор с мощност до $2kVAr$, номинално напрежение $400V$ е продължение на [9]. Мощността му може да се регулира в границите $0,4\div 1pu$, за разлика от описаните в [4] УШР трансформаторен тип и УШР с подмагнитване, които могат да се регулират от нула.



Фиг.4. Зависимост на товарния ток от управляващия.

Това е направено с цел да не се използва енергия за управление, когато е необходима минимална мощност на компенсатора. Тази мощност може да се изменя в зависимост от конкретния случай.

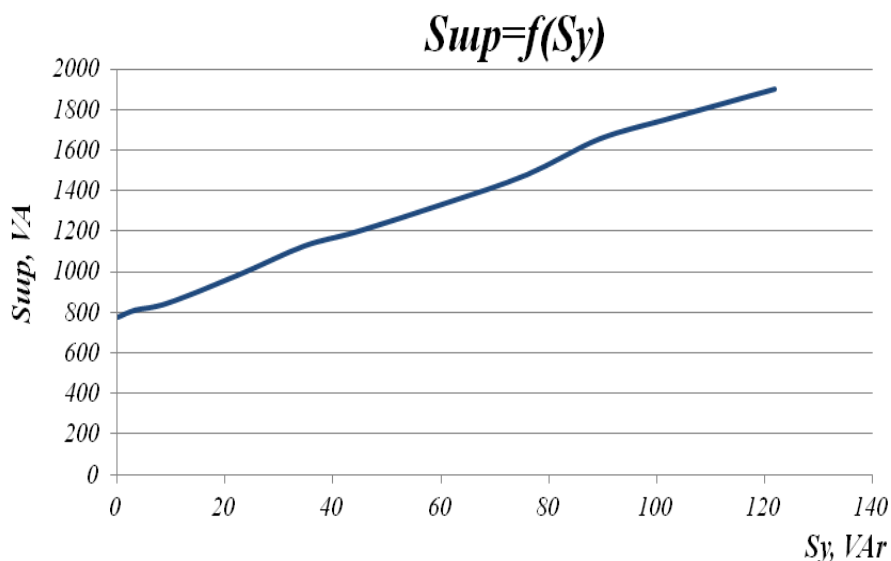


Фиг.5. Разработения управляем шунтов реактор.

В режим без управление консумираната от мрежата мощност зависи основно от размера на немагнитната междина в магнитопровода. На фиг. 4 е показан запис на зависимостта на товарния ток спрямо управляващия. Както се вижда от графиката, при стойности близки до нула, управляващия ток не влияе на товарния. Това е токът който протича през силовата намотка при липса на управление. След което зависимостта следва кривата на намагнитване на материала. Разработения компенсатор дава възможност за регулиране на реактивната мощност в много широки граници (фиг. 6). Управляващата мощност е около 6% от мощността на компенсатора (като цяло е висока). Но имайки предвид от една страна, че коефициента на усилване е в квадратична зависимост от отношението на управляващия брой навивки спрямо силовите (а в случая целта е и да се изследва и пофазно управление при определени условия) и от друга - нискокачествената ламарина, използвана за направа на магнитопровода (внос от Турция), тази стойност е приемлива.

За сравнение на изследвания управляем компенсатор в [9], стойността на управляващата мощност е два пъти по-ниска, но там отношението на навивките в намотките е друго и магнитопроводът е от съветски регулатор на възбуждане за синхронни генератори – тип РВА 62 (различен като качество материал), което оказва своето влияние.

Освен това параметрите на управляем компенсатор със сигурност могат да бъдат подобрени, предвид факта, че това е първото подобно трифазно съоръжение за компенсация на реактивна мощност, изследвано у нас.



Фиг.6. Мощност на компенсатора във функция от регулиращата мощност.

Нивото на хармоничните изкривявания на напрежението в точката на присъединяването на реактора са предмет на друга публикация.

5. ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

Необходимостта от плавно компенсиране на реактивната капацитивна енергия дава възможност за ново приложение на дроселите с подмагнитване.

Получените резултати от създадения в разработката компенсатор са много добри и напълно се припокриват с очакванията. Разработения математически модел и изследванията, направени върху готовото устройство, ще бъдат използвани за база при конструирането и внедряването в експлоатация на съоръжения с големи мощности в малки ВЕЦ и други предприятия от националното стопанство.

Изследванията представени в настоящата публикация са направени на база договор № 132ПД0054-01, с НИС на ТУ-София.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Александров Г.Н., Лунин В.П. Управляемые реакторы, Центра подготовки кадров энергетики, 2005 г., Санкт-Петербург.
- [2] Дмитриев М. и др. Управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы, Родная Ладога, 2013г., Санкт-Петербург
- [3] Калужников Н., Расчет магнитных усилителей, Издательство Харьковского государственного университета им. А. М. Горького, 1960 г.

- [4] Дьяков А.Ф. и др., Электрические подстанции переменного тока. Средства и интеллектуальные системы управления, Энергопрогресс Корпорации, Москва, 2012г.
- [5] Фархи С. и др., Магнитни усилватели в автоматизираното електрозадвигване, Техника, 1968г., София
- [6] Наредба № 1 от 18 март 2013 г. за регулиране на цените на електрическата енергия, обн. ДВ. бр.33 от 5 април 2013г., изм. и доп. ДВ. бр.17 от 28 Февруари 2014г.
- [7] Александров Ал., Электромагнити, С., Авангард Прима, 2012г.
- [8] Meeker D. Finite Element Method Magnetism, Version 4.2, User's Manual, August 25, 2013
- [9] Добрилов Д., Средства за компенсиране на капацитивна мощност – част 1, Годишник на ТУ – София, том 5, 2013г.

Автор: Даниел Добрилов, инж. маг. докторант, катедра „Електроенергетика”, Електротехнически Факултет, Технически Университет-София, E-mail adress:: dobrilow@abv.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Валентин Колев

СРЕДСТВА ЗА КОМПЕНСИРАНЕ НА КАПАЦИТИВНА МОЩНОСТ- ЧАСТ 2

Даниел Добрилов, Ангел Цолов

Резюме: Настоящата статия е продължение на [1]. В нея се разглежда хармоничното изкривяване на напрежението, в точката на присъединяване към мрежата, от изработен физически модел на трифазен управляем шунтов реактор. Направени са записи при изключен компенсатор и при различни режими на работа на съоръжението. Извършен е спектрален анализ на получените данни, след което хармоничните изкривявания са съпоставени с действащия стандарт.

Ключови думи: управляем шунтов реактор, хармонични изкривявания, спектрален анализ

MEANS FOR REACTIVE POWER COMPENSATION - PART 2

Daniel Dobrilov, Angel Colov

Abstract: The current paper is a continuation of PART 1, in which it is investigated the harmonic voltage distortion at the point of connection of a full scale prototype of Variable Shunt Reactor (VSR). The investigation conducts testing of the VSR at different operating modes. It has been conducted a spectrum analysis of the harmonic distortion and the results are compared with current regulatory standards.

Key words: Variable Shunt Reactor, harmonic restriction, spectrum analysis

1. НЕОБХОДИМОСТ И ЦЕЛИ

Настоящата статия е продължение на [1]. Написването и в тази посока се породило от многото изказани мнения, на специалисти в областта на електроенергетиката, че приложението на управляеми шунтови реактори с подмагнитване на ниво средно и ниско напрежение е реално неприложимо. Основните опасения, са че ще се получат прекалено големи хармонични изкривявания на напрежението в точката на присъединяване на компенсатора, които биха се получили от подмагнитването на магнитната система на съоръжението.

Основната цел е да се изследва и докаже приложимостта на УШР, при нашите условия, без да се нарушават действащите стандарти. По този начин ще се създаде основа за бъдещото внедряване на тези съоръжения в нашата електроенер-

гийна система. Валидния у нас, Европа и хармонизиран в Русия, стандарт за качество на електрическата енергия е: БДС EN 50160:2010 – „Характеристики на напрежението на електрическата енергия, доставяна от обществените електрически мрежи“. В него много ясно се дефинират стойностите на хармониците на напрежението в електрическите мрежи. За мрежи ниско напрежение общия ко-ефициент на хармонични изкривявания (THD) е до 8%.

В табл.1 са дадени и максимално допустимите нива на отделните хармоници за мрежи ниско и средно напрежение съгласно [3].

Таблица1

Odd harmonics				Even harmonics	
Not multiples of 3		Multiples of 3			
Order h	Relative amplitude u_h	Order h	Relative amplitude u_h	Order h	Relative amplitude u_h
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6 ... 24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

NOTE No values are given for harmonics of order higher than 25, as they are usually small, but largely unpredictable due to resonance effects.

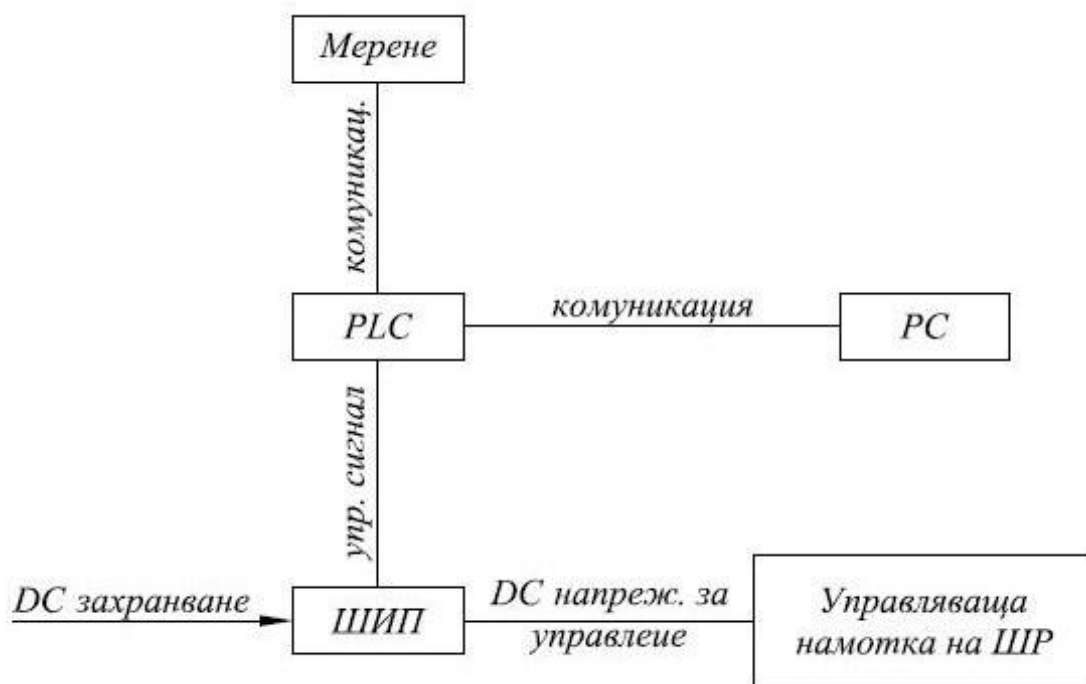
2. ФИЗИЧЕСКИ СТЕНД

За изследване и анализиране на по-горе изброените проблеми е създаден физически лабораторен стенд. За създаването му е използван управляемият шунтов реактор, разгледан в [2].

Предвид факта, че факторът на мощността на реактора е много нисък, да бъдат постигнати на стенда стойности в границите от $0,7 \div 1$, е монтиран и активен товар с трифазна мощност 1800/3600W. Той е изработен от шест реотана за напрежение 220V. За да се променя фактора на мощността в широки граници, е създаден допълнителен електронен регулатор, чрез който плавно или релейно се регулира активния ток.

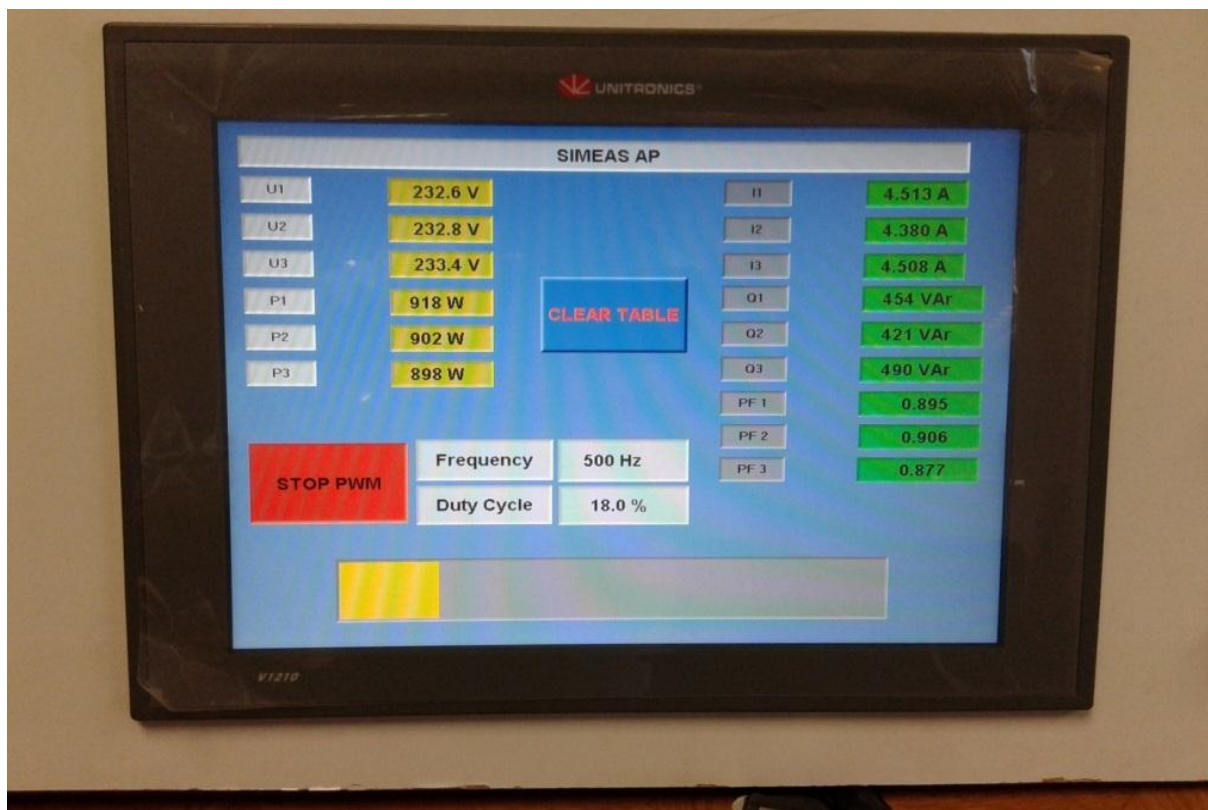
По този начин може се проверява алгоритъма за управление и настройките на регулатора при динамични въздействия.

За управление на системата е използвана структурната схема, показана на фиг.1, заимствана от [1].



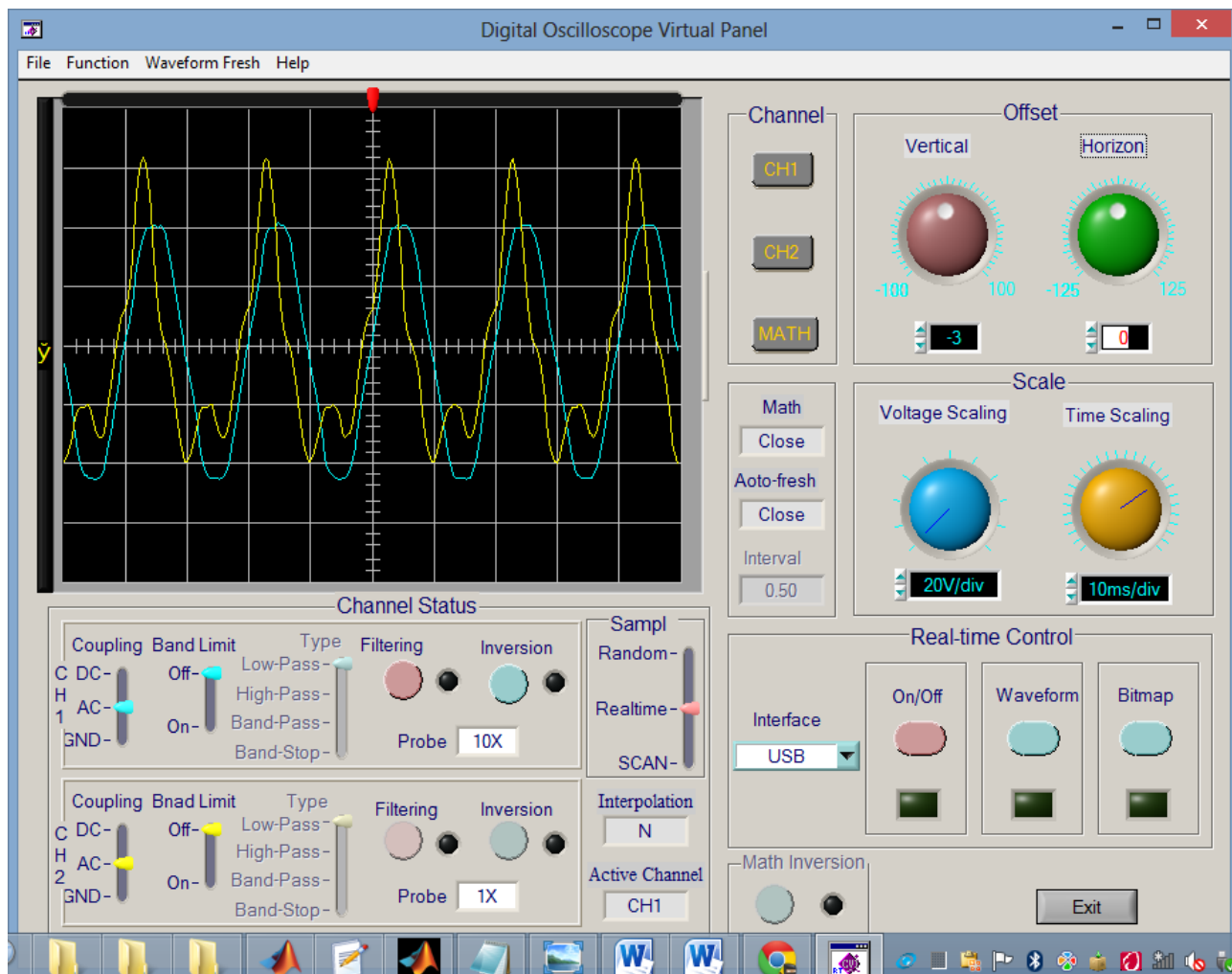
Фиг.1. Структурна схема за управление на шунтовия реактор.

На фиг.2 е показан дисплеят на управляващия контролер с измерените стойности в съответния момент и запълването на ШИП. Несиметрията между реактивните и активните мощности на отделните фази (показани на дисплея) се дължи на грешка в измервателния преобразувател.



Фиг.2. Дисплей на управляващия контролер.

Софтуерът, използван в [1], е променен за нуждите на трифазното управление. Измерването на параметрите на системата се осъществява с цифров измервателен уред на фирма Siemens. По комуникационен интерфейс RS485 измерените данни се предават на програмируем логически контролер (PLC), като на база заложения алгоритъм за управление, се поддържа зададен фактор на мощността 0,9. Това се осъществява чрез високоскоростен изход на контролера, генериращ PWM (ШИМ) сигнал, който управлява полупроводников ключ. Чрез него се регулира стойността управляващия изправен ток, респективно консумираната реактивна мощност от компенсатора.



Фиг.3. Запис в режим на управление при 100% запълване на ШИП.

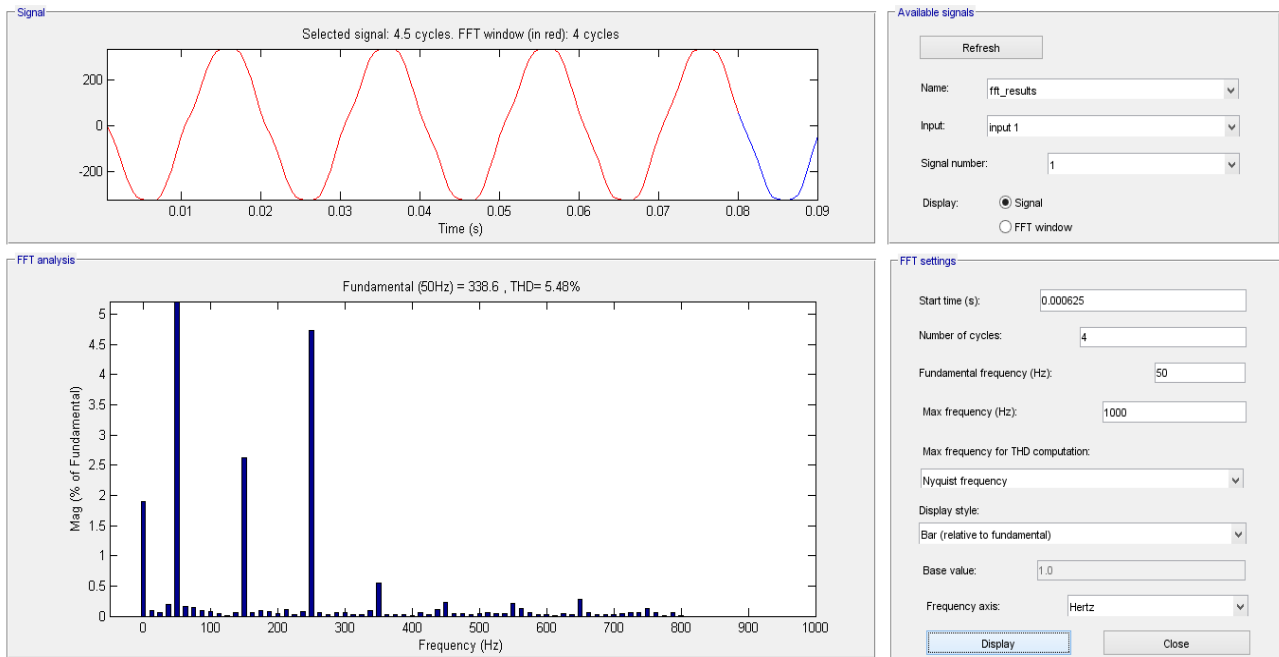
За запис на токовете и напреженията при различните режими на работа на компенсатора е използван цифров регистратор на електрически сигнали R412-4C [5]. Паралелно на регистратора е свързан и двуканален осцилоскоп 200MHz като резултатите от двата измервателни уреда се припокриват напълно. На фиг.3 е показан запис, в режим на управление и 100% запълване на ШИМ (направен с цифров осцилоскоп 200MHz: ток-жълт цвят и напрежение - син).

За обработка на получените данни в цифров вид от регистратор R412-4C, е използван програмен продукт MATLAB 2012b. За целта на изследването е създадена програма за въвеждане на заснетите данни с регистратора в „Powergui FFT Analysis Tool“. След въвеждане на данните в приложението се прави спектрален

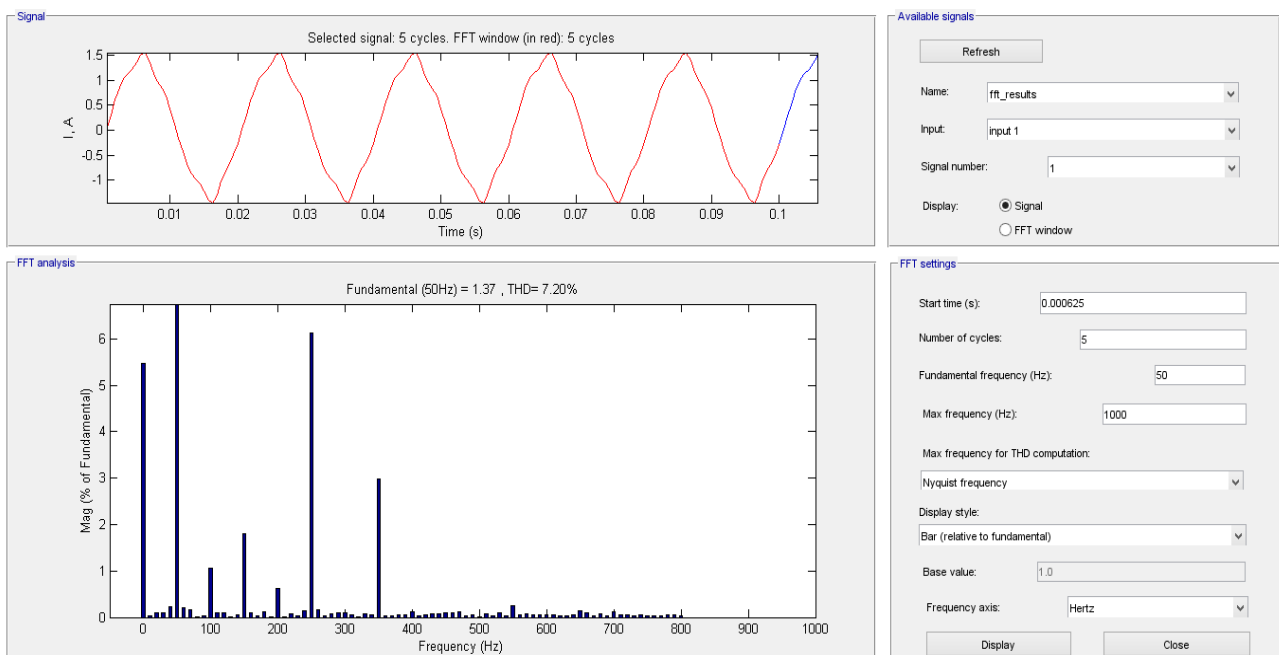
анализ на сигналите, за да се установи техния хармоничен спектър. За да се прецени коректно изкривяването на напрежението от самия компенсатор, е направено измерване на хармоничния спектър на захранващата мрежа без включен товар, (фиг.3).

3. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗМЕРВАНИЯТА

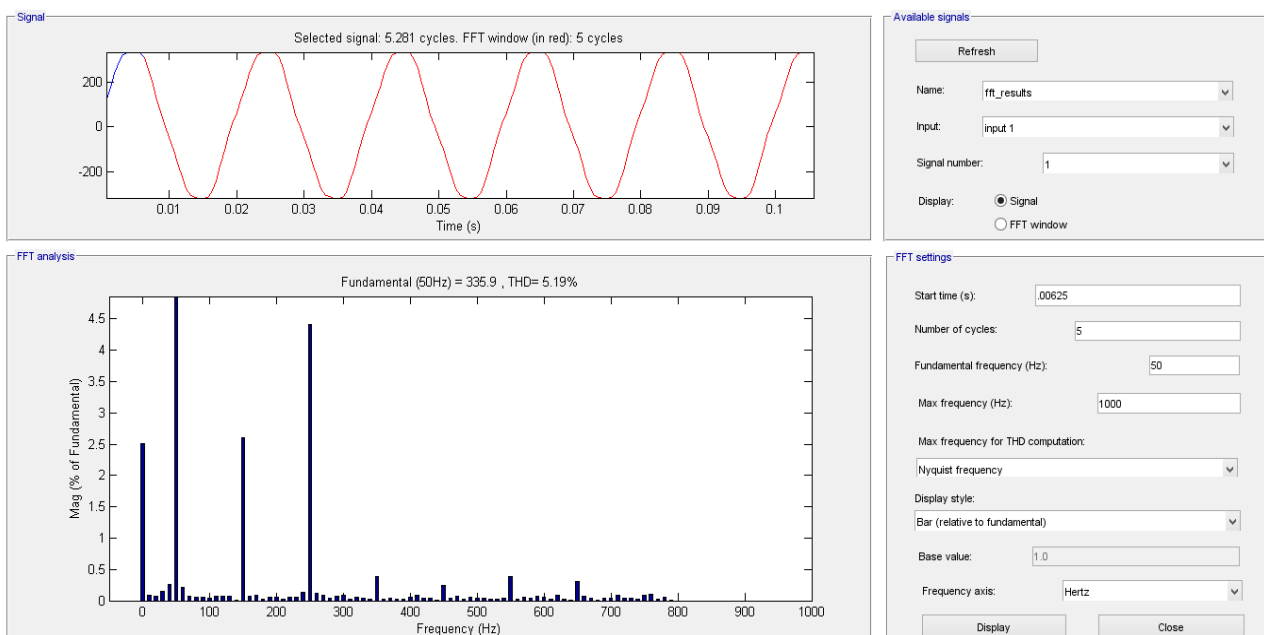
Резултати от измерванията са представени на фиг.4-фиг.8.



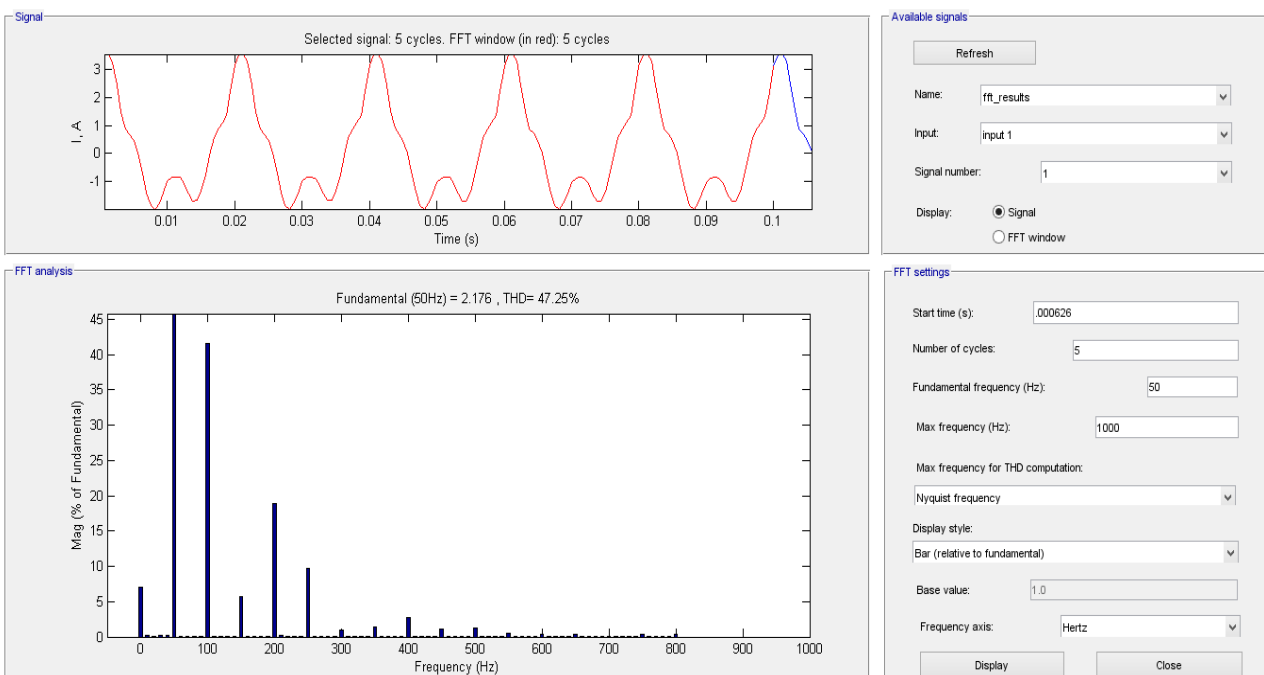
Фиг.4. Напрежение и спектрална плътност в точката на присъединяване при изключен компенсатор



Фиг.5. Ток и спектрална плътност през фаза на компенсатора при минимална мощност (липса на управление).

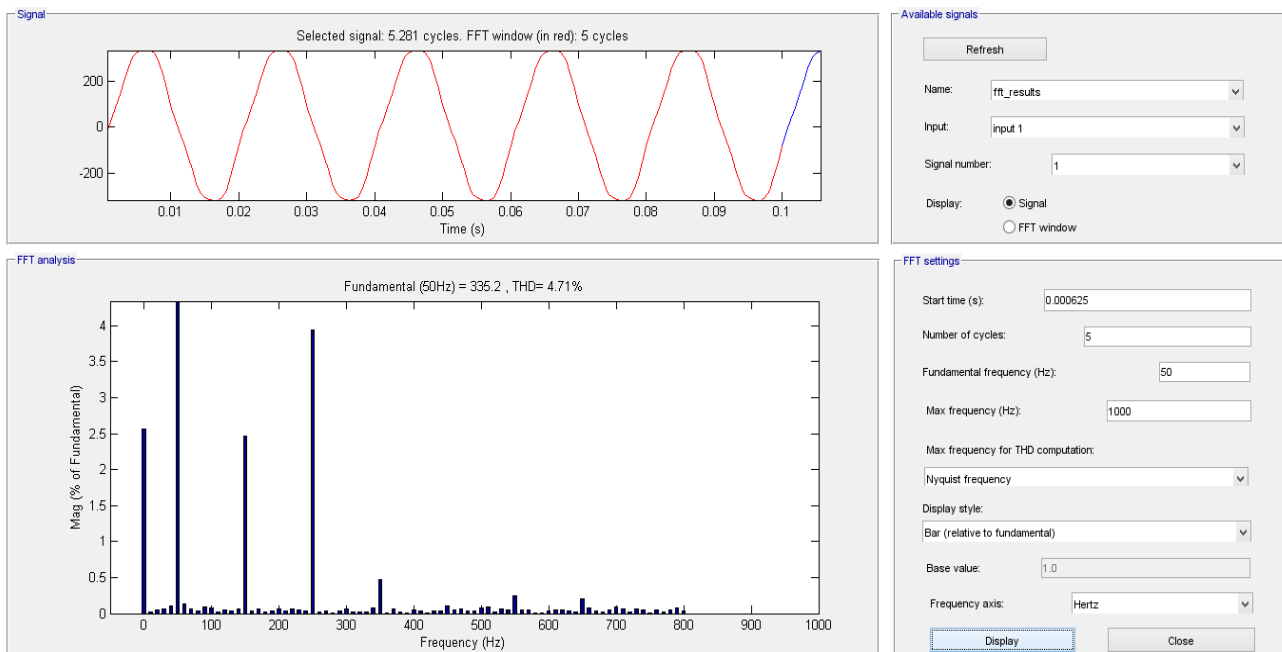


Фиг.6. Напрежение и спектрална плътност в точката на присъединяване при минимална мощност на компенсатора (липса на управление).



Фиг.7. Ток и спектрална плътност през фаза на компенсатора при максимална мощност.

На база заснетите записи и направените изчисления най-голямо хармонично изкривяване на напрежението имаме, при липса на товар в захранващата мрежа (THD=5,48%) и най-малко при включен компенсатор на максимална мощност (THD=4,71%). Както може да се очаква при всички режими на работа преобладават нечетните хармоници в кривата на напрежението, като най-силно изразен е пети, след него трети и т.н. В режим на натоварване на компенсатора постояннотоковата компонента на напрежението е по-силно изразена от трети хармоник, поради спецификата на схемата на силовата и управляващата верига.



Фиг.8. Напрежение и спектрална плътност в точката на присъединяване при максимална мощност на компенсатора.

Токът в максимален режим на натоварване е с много голямо изкривяване $THD_I=47,25\%$. Това се дължи основно на подмагнитването с постоянен ток. В този режим на работа се получават както четни, така и нечетни хармонични съставящи. Най-силно изразени са втори, четвърти и пети. След десети хармоник изкривяването е пренебрежимо малко. В режим без управление много силно изразени са пети, седми и постояннотоковата компонента.

За сравнение в [6], е направено експериментално изследване на енергетични параметри на модернизирани локомотиви серия 46-200, при което за изследвания в доклада участък, THD_I се колебае около $40\div 50\%$. В [7] е направено изследване на електрическите параметри на светодиодни лампи на водещи световни производители като Osram, Philips, General Electric и други. Резултатите от измерванията им показват, че THD_I е в границите $30\div 80\%$.

4. ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

При така получен сигнал на тока в режим на максимална мощност, загубите на електрическа енергия по мрежата ще бъдат по-големи, отколкото при „идеална“ синусоидална форма. Влиянието на този недостатък обаче е въпрос на икономически изчисления за всеки отделен случай.

При работа на компенсатора в максимален режим THD на напрежението е по-малко, отколкото при празен ход.

За подобряване на резултатите са предвидени изследвания с различни схеми на силовите вериги, конструкции и основно - принцип на формиране на управляващи сигнали.

Като цяло използването на разработения и изследван управляем шунтов реактор не противоречи на действащите нормативни документи [3] предвид факта, че при включването му в максимален режим на работа, изкривяването на напрежението е доста под допустимото ниво от 8%.

Изследванията представени в настоящата публикация са направени на база договор № 132ПД0054-01, с НИС на ТУ-София.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Добрилов Д., Средства за компенсиране на капацитивна мощност – част 1, Годишник на ТУ – София, том 5, 2014г.
- [2] Добрилов Д., Управляеми шунтови реактори, Годишник на ТУ – София, 2014г.
- [3] EN 50160:2010 – Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks
- [4] <http://www.mathworks.com/help/matlab/>
- [5] Цолов А., Автоматизация на ЕЕС – Изследване и на процеси и автоматични устройства, София 2014г., Авангард Прима
- [6] Павлов Г. и др., Експериментално изследване на енергетичните параметри на модернизирания тиристорен локомотив серия 46-200, сп. Механика Транспорт Комуникации, бр. 1/2014г.
- [7] Bouroussis C. A., Photometric and electrical performance of led lamps for replacement of gu10 halogen spot lamps, Balkan Light 2012

Автори: Даниел Добрилов, инж. маг. докторант, катедра „Електроенергетика”, Електротехнически Факултет, Технически Университет-София, E-mail adress: dobrilow@abv.bg; Ангел Цолов, доцент д-р, катедра „Електроенергетика”, Електротехнически Факултет, Технически Университет-София, E-mail adress: abc@tu-sofia.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Вълчан Георгиев

МОДУЛИ ЗА ВЕКТОРНО ИЗМЕРВАНЕ (PMU) ЗА СИСТЕМИ ЗА РЕЛЕЙНА ЗАЩИТА

Димитър Богданов, Нели Харизанова

Резюме: В работата е направен преглед на основните принципи на действие на модулите за векторно измерване (МВИ), техните характеристики и възможността за прилагането им в системи за релейна защита. Представени са предимствата им за повишаване надеждността на съвременните електроенергийни системи. Разгледани са възможностите за прилагане на модулите за векторно измерване в електроенергийните системи.

Ключови думи: модули за векторно измерване МВИ, системи за защита на голяма територия, релейни защиты

PHASOR MEASUREMENT UNITS (PMUs) IN RELAY PROTECTION SYSTEMS

Dimitar Bogdanov, Nelly Harizanova

Abstract: This paper provides an overview and analysis of the applications of the Phasor Measurement Units (PMU) in the relay protection systems. In the paper are estimated the advantages and principles of work of PMU. The possibilities for wider application in the power systems in order to improve their reliability has been analyzed.

Keywords: PMU, WAP Systems, electrical power system, relay protection

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Нарушенията в работата на елементите на електроенергийната система (ЕЕС) са голямо предизвикателство за операторите им, поради сложността ѝ и голямата територия която обхваща. При обединени ЕЕС (като например системата ENTSO-E /бивша УСТЕ/) при възникване на смущение са необходими действия за защита и контрол, за да се предотврати/ограничи разпадането на ЕЕС, за да се възстанови нормалното ѝ състояние, и да се намали ефекта от смущението [1][5]. В някои случаи конвенционалните, използвани понастоящем, действия за наблюдение, управление и защита може да бъдат твърде бавни и да не бъдат ефективни за бързо развиващите се смущения.

Съществува голям потенциал за изграждане на съвременни системи за защита на големи територии базирани на мощни, гъвкави и надеждни модули с комуникация и синхронизация.

В резултат на различни негативни влияния и събития: лоши метеорологични условия, повреди в оборудването, човешки действия и др., енергийните системи са изложени на сериозни смущаващи въздействия, които водят до прекъсване на храненето и доставката до потребителите на електрическа енергия. Такива са например случаите от 2003г. в Канада и САЩ, 2003г. в северна Италия, 2006г. в централната зона на Европейския съюз. Проектантите на елементите на ЕЕС полагат усилия за изграждане на надеждни системи, които са в състояние да се справят с евентуални непредвидени случаи. Но дори за най-добре планираната система, непредвидимите събития могат да повлияят негативно извън границите на проектните решения. Някои от причините да не може да бъде постигната напълно надеждна работа на ЕЕС и пълна предвидимост на всички възможни сценарии са следните:

1. Голям брой непредвидими ситуации в съвременните взаимосвързани електроенергийни системи.
2. В променящата се структура на електроенергийните системи, се генерират непредсказуем брой промени. Неизбежно, експлоатацията на електроенергийната система е значително по-различна от очакванията на проектантите, особено по време на извънреден случай. Например, дерегулацията предоставя финансова мотивация да се прехвърля енергия от генериращите мощности (например, независими производители на електроенергия) до отдалечените товари. Тъй като сегменти от съществуващите ЕЕС не са изградени за реализация на такъв вид прехвърляне на мощностни потоци, системата е подложена на допълнителни експлоатационни предизвикателства.
3. Комбинацията от необичайни и нежелани събития (например, човешка грешка в съчетание с лошо време и планирани или непланирани изключения за поддръжка на важен елемент в системата).
4. Икономическият интерес в определени случаи е в противоречие с изискванията за надеждност на ЕЕС. Налагането на „мениджърски“ принципи при развитието и експлоатацията на ЕЕС в определени случаи води до небаланси и влошаване на надеждността на ЕЕС.
5. Борбата за ограничаване на вредните емисии в атмосферата, диверсификацията на енергийните източници и развитието на електронните технологии довежда до увеличаване на дялът на „възобновяемата генерация“. Поради естеството на стохастичния характер на първичната енергия – слънцегреене и най-вече вятъра, участието на много производители се променя динамично, като работата на системата се променя и зависи от фактори извън контрола на операторите на електроенергийната система (например метеорологичните условия).

Автоматичните действия за овладяване на процесите могат да се използват като разпределени средства, централизирана система, или комбинация от двете. Елементи от такава система са прилаганите АЧР (Автоматика за Честотно Разтоварване), АПАХ (Автоматика за Предотвратяване на Асинхронния Ход), АПВ

(Автоматично Повторно Включване), АРВ (Автоматичното Регулиране на Възбуждане със съответните функции за форсиране на възбуждането) и др.

Отсъствието на синхронизация между системите за защита разположени в различни точки на ЕЕС затруднява формирането на оптимални сигнали за овладяване на смущения и аварии обхващащи голяма територия и анализа на възникнали събития. Това води до възприемане на възможността за прилагане на Модулите за Векторно Измерване (МВИ) (в англоезичната литература – PMU/Phasor Measurement Unit) - устройства в електроенергийната система, които осигуряват синхронизирани измервания в реално време на напреженията и токовете. Анализът на състоянието на ЕЕС се осъществява чрез синхронизирани измервания по едно и също време в различни точки. Това се постига като се измерват от синхронизирани модули синусоидите на напрежението и тока, използващи синхронизиращи сигнали от системата за глобално позициониране (GPS), играеща роля на синхронизираща система [10].

Предистория на идеята:

През 1893г., Чарлз Стайнмиц (Charles Proteus Steinmetz) представя доклад за описание на формата на кривата на променлив електрически ток чрез фазови векторни величини [2]. Във физиката и инженерните науки фазовата векторна величина (phasor) се представя като синусоидална функция с амплитуда (A), честота (ω) и фаза (θ). Това представяне може да бъде много удобно, тъй като параметърът честота е много често общ за всички компоненти за линейна група от синусоидално изменящи се величини. В такъв случай групата на фазовите векторни величини позволява общият параметър да бъде отделен („изваден пред скоби“), като определящи параметри остават амплитудата (A) и фазата (θ). Това позволява тригонометричните преобразувания да бъдат сведени до алгебрични и линейните диференциални уравнения да бъдат сведени до алгебрични [3].

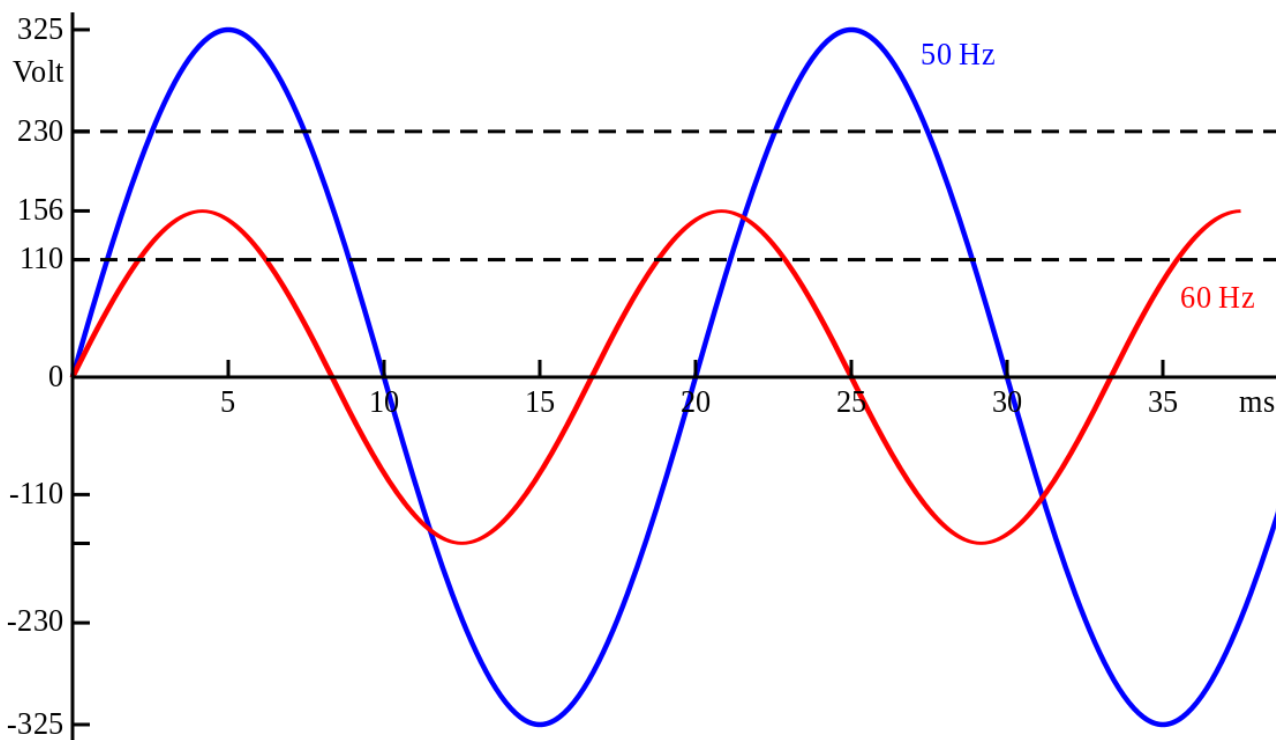
2. ПРИНЦИП НА РАБОТА НА МОДУЛИТЕ ЗА ВЕКТОРНО ИЗМЕРВАНЕ

Модулите за векторно измерване (PMU) измерват величини с честота 50/60 Hz (напрежения и токове) типично с честота на сканиране („sampling“) 48 точки за период (960 измервания за секунда при 50Hz / 800 измервания за секунда при 60Hz).

Формата на кривите на сигнали с честота 50 Hz и 60 Hz са представени на фиг. 1.

Аналоговите сигнали се преобразуват в цифрови (двоични) посредством Аналого-Цифров Преобразувател (АЦП) (Analog to Digital converter ADC) отделно за всяка фаза.

Синхронизацията на преобразуването от АЦП се осъществява посредством тактов генератор (часовник) с висока точност с корекция за обща синхронизация от системата за глобално позициониране GPS [4][6].



Фиг.1.

Моментната стойност на изменяща се синусоидално величина може да бъде представена чрез комплексно число, познато като фазов вектор:

$$x(t) = X_m \cos(\omega t + \phi) \quad (1)$$

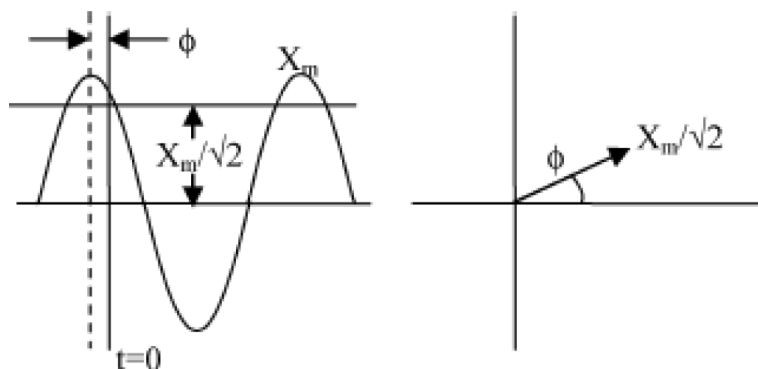
Векторното представяне на тази моментна стойност може да бъде представено както следва:

$$x(t) = \frac{X_m}{\sqrt{2}} e^{j\phi} = \frac{X_m}{\sqrt{2}} (\cos \phi + j \sin \phi) \quad (2)$$

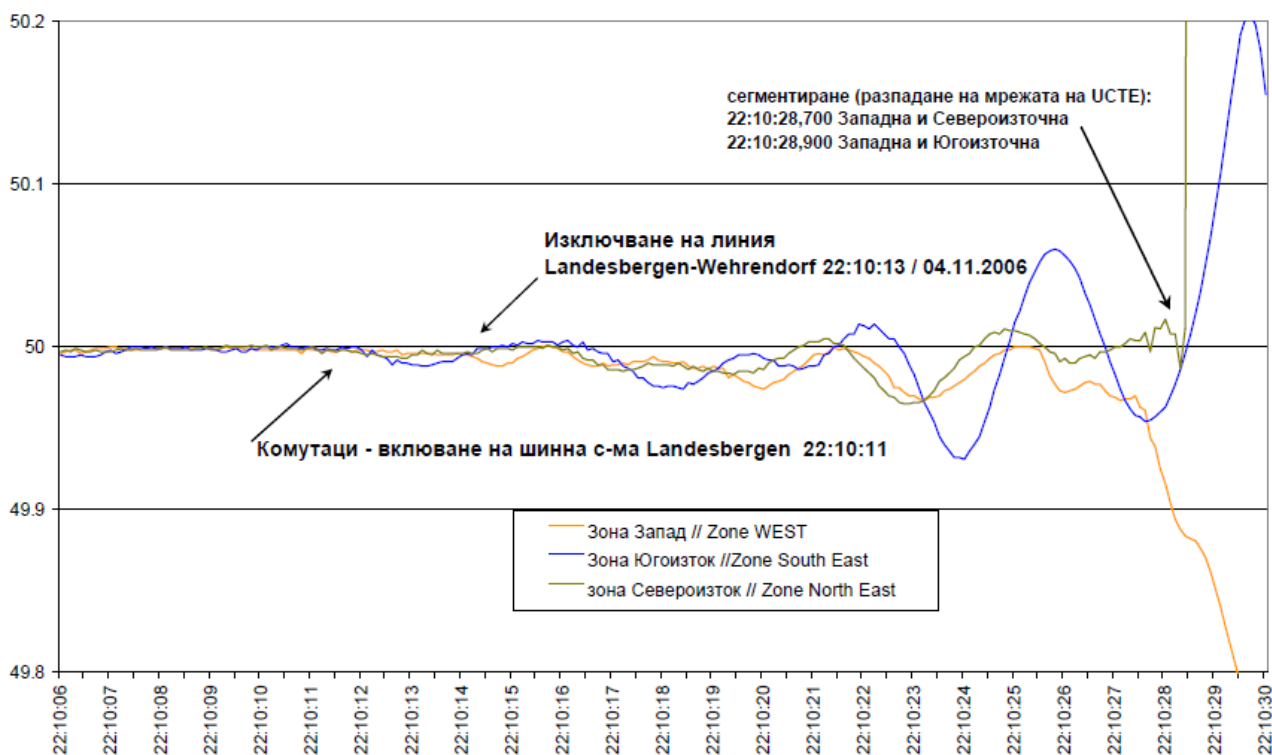
Трябва да се отбележи, че във векторното представяне, честотата ω не участва. Големината на фазовия вектор е ефективната стойност на синусоидалата $\frac{X_m}{\sqrt{2}}$ и неговият фазов ъгъл е ϕ – фазовият ъгъл и в първата формула.

Важно е също така да се отбележи, че положителните фазови ъгли се измерват в посока обратна на часовниковата стрелка от реалната ос. Тъй като честотата на синусоидалата се подразбира във векторното определение, ясно е, че всички фазови вектори, които са включени в същата векторна диаграма трябва да имат една и съща честота.

Когато се осъществяват реални векторни измервания, входните сигнали не са с постоянни параметри и тяхната честота може да се изменя. При дисбаланс между производство и потребление на електрическа енергия в обединена ЕЕС (фиг.3) е възможно в резултат от оформянето на зони с различна честота да се стигне до сегментиране (разпадане на зони) [7].



Фиг.2. Векторно представяне на синусоидален сигнал. (а) Синусоидален сигнал. (b) Векторно представяне



Фиг.3. Регистрирани изменения на честотата в обособените сегменти на UCTE (понастоящем ENTSO-E) и последващо разпадане на 4 ноември 2006г.

При измерване на сигнали в различни отдалечени точки на ЕЕС честотата в нормален установен режим следва да е еднаква за всички генератори. За установяване на ъгли отклонения между ЕДН на генераторите и съответно разпознаване на недопустими режими трябва да са налице точно измерени моментни стойности, които да могат да бъдат съпоставяни [11].

За постигане на точно измерване на моментните стойности на следените величини както по амплитуда, така и по време следва да има общ репер (опорна синхронизация).

В табл.1 е направена съпоставка между система за събиране на информация и управление (SCADA) и система с модули за векторно измерване.

Таблица 1

Характеристика	Система за събиране на информация и управление	Модули за векторно измерване
Измерване	Аналогово	Цифрово
Резолюция	2-4 измервания за период	До 60 измервания за период
Възможност за наблюдение	Стабилно състояние	Динамично/Преходно
Мониторинг	Локален	На голяма територия
Векторно измерване на ъгъла	Не	Да

Функционалното предназначение на SCADA системите ограничава възможността за използването им като опорна база за системи за релейна защита.

3. ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА ИНФОРМАЦИОННА МРЕЖА ИЗГРАДЕНА НА БАЗА НА МОДУЛИ ЗА ВЕКТОРНО ИЗМЕРВАНЕ

Информационната мрежа, базирана на МВИ представлява МВИ разпределени по територията на съответната ЕЕС, свързани към концентратори за информация /Phasor Data Concentrators (PDC)/ за събиране на информацията в обща система за наблюдение и събиране на информация /Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)/. Такива мрежи се използват в системите за наблюдение на големи територии /Wide Area Measurement Systems (WAMS)/, първата от които е започнала работа през 2000г. в Енергийния Оператор на Боневил /Bonneville Power Administration/ в зоната САЩ, разположена на северозапад, до Тихия океан [2]. Цялата мрежа изисква бързо прехвърляне на данни, в рамките на честотата на сканиране на данните за векторните величини. Използвани са GPS маркери за време, които осигуряват теоретична точност на синхронизацията по-добра от 1 ms. Развитието на ЕЕС и повишаването на критериите за устойчива работа налагат и повишаване на изискванията към синхронизацията. При сигнали с честота 50Hz точност от 1 ms може да не осигурява необходимата сходимост на сигналите – интервал от 1 ms съответства на 1/20 от периода или 18 електрически градуса.

Към настоящия момент се счита, че точност от ± 500 ns е необходима за осигуряване на стандартна точност по време от 1 микросекунда за всяко устройство за векторно измерване. За 60 Hz системи, МВИ трябва да осигуряват между 10 и 30 синхронизирани отчитания за секунда, в зависимост от приложението. Концентраторът (PDC) обработва информацията, наблюдава и управлява МВИ – обикновено от няколко до няколко десетки. В централната база SCADA системата формира информация за системата като цяло за всички генератори и подстанции в системата на всеки 2 до 10 секунди. В нормален режим на работа голяма част от измерените стойности от МВИ се филтрират (не се прехвърлят към

по-високо йерархично ниво), за да не бъдат претоварени информационните канали с голямо количество данни за измерени стойности.

Като информационни канали при различни приложения са използвани телефонни линии, GSM канали и др.

Перспективен начин за пренасяне на информация, с оглед на развитие на съвременните технологии, са канали изградени от фибро-оптични кабели, с възможност за пренасяне на информация с висока плътност, малки смущения и малки закъснения.

С оглед овладяване на процесите в системата, е целесъобразно в обща система за контрол и наблюдение да бъдат включени:

- Основните централи работещи в основната част на товаровия график (базовите централи);
- Електроцентралите участващи в регулирането на енергийния баланс в 24 часов график;
- Електроцентралите с блокове в резерв;
- Групи разпределени генериращи мощности с малка относителна мощност – възобновяеми източници и др.;
- Възлови системни подстанции;
- Линии за пренос (обмен) на енергия извън границите на страната.

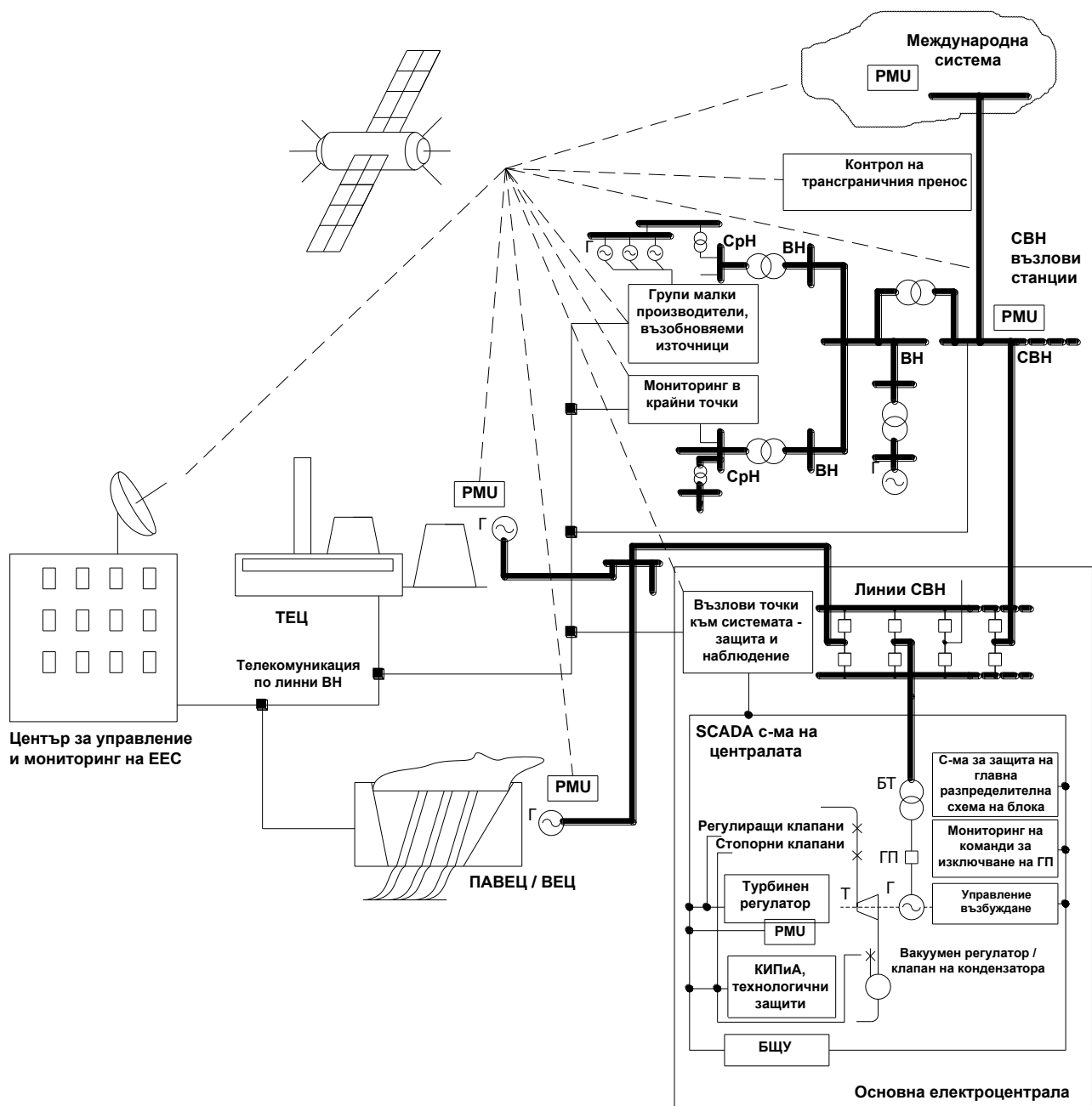
Практиката показва проблеми при използване на разнородно оборудване – при различни доставчици на МВИ.

Документирани са случаи на отчетени стойности с отклонения на 47 микросекунди – или разлика от 1,06 градуса при 60 Hz или 0,846 градуса при 50 Hz - недопустимо отклонение в точността.

В Китай възприетото решение на този проблем е да се конструират собствено производство МВИ по собствени спецификации и стандарти, така че да не възникват проблеми от голям брой разнородни доставчици и несъответствия от разлики в стандарти, протоколи за комуникация или работни характеристики.

На фиг.4 е представена схематично възможна схема за реализация на система за обмен на информация в реално време за състоянието на ел. мрежата.

Освен посредством използваните конвенционални информационни канали за пренасяне на информация по мрежата (телеканални), масовото използване на сателити за информационни цели и възможността обмена на информация да бъде синхронизиран от централна точка за наблюдение, позволяват да бъде реализирана цялостна защита на системата (WAP) [8][9].



Фиг.4.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С нарастващия интерес към МВИ (PMU) и системите за мониторинг на големи територии (WAMS) по целия свят, налице е перспективата тези модули ще бъдат прилагани на все повече места в електроенергийните системи. До голяма степен успехът на това прилагане зависи от спазването на стандартите в индустрията, касаещи МВИ. Осъществяването на МВИ технологиите изисква инвестиция и ангажимент от страна на предприятията и системните оператори. Инвестицията включва: проучвания, закупуване на оборудване и внедряването му, поддръжка, разпределение на ресурсите и обучение. За да могат предприятията и системните оператори да направят стъпка към въвеждането на МВИ в електроенергийните системи, е желателно да установят и изберат ключови приложе-

ния, които ще бъдат от полза на отделните системи и взаимосвързаните мрежи като цяло.

Развитието на микроелектрониката и постигането на компактни микропроцесори и едночипови компютри спомага за проектирането и производството на нови типове устройства за релейна защита и автоматизация на ЕЕС. Тенденцията за развитие на устройствата за защита или традиционно наричани „релейни защиты“ е да бъдат обединени в едно устройство функциите за защита и на МВИ. Това се явява естествена следваща стъпка след реализацията на „Интелигентните Електронни Устройства“ – устройства в които са интегрирани както функциите за защита, така и функции за блокировка, управление на комутационни апарати, телеуправление, регистрация на данни и събития и др. Някои фирми вече предлагат устройства за защита с интегрирана функция за МВИ [12][13].

По-нататъшното развитие на технологията и нейното прилагане ще способства за повишаване на надеждността на ЕЕС и подобряване на условията за наблюдение, управление и защита на структурата ѝ и съставните елементи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. Guzmán, D. Tziouvaras, E. O. Schweitzer, Ken E. Martin, *Local and wide-area network protection systems improve power system reliability*, 2004
- [2] M. Begovic, D. Novosel, D. Karlsson, Ch. Henville, G. Michel, *Wide-Area Protection and Emergency Control*, IEEE, Proceeding of the IEEE, Vol. 93, No. 5, May 2005
- [3] J. Bertsch, C. Carnal, D. Karlsson, J. McDaniel, K. Vu, *Wide-Area Protection and Power System Utilization*, Proceeding of the IEEE, Vol. 93, No. 5, May 2005
- [4] B. Singh, N.K. Sharma, A.N. Tiwari, K.S. Verma, S.N. Singh, *Applications of phasor measurement units (PMUs) in electric power system networks incorporated with FACTS controllers*, International Journal of Engineering, Science and Technology Vol. 3, No. 3, 2011, pp. 64-82, 2011
- [5] S. Skok, I. Ivankovic, Z. Cerina, *Applications based on PMU technology for improved power system utilization*, 2007
- [6] ABB Group. Substation Automations Systems, *PSGuardWide Area Monitoring Systems, Portfolio, applications and experiences, Presentation*, Aril 24, 2012.
- [7] UCTE. *Final Report: System Disturbance on 4 November 2006*
- [8] D. Bogdanov. *Multilevel advanced grid control by utilization of intelligent electronic devices*. PACWorld conference, Dublin, 2011

- [9] Alexander Apostolov. *Integration of distributed energy resources*. PACWorld magazine. Issue September 2013, pp 18-25.
- [10] Jorge Velez, S. Ward, D. Elizondo, *System Integrity Protection System (SIPS)* PACWorld magazine. Issue March 2014, pp 38-43.
- [11] Mohamed Ibrahim. *Disturbance analysis for power systems*. PACWorld magazine. Issue June 2013, pp 18-25
- [12] Dr. Michaël Hurtgen and Prof. Jean-Claude Maun, *Applications of PMU measurements in the Belgian electrical grid*. May 9, 2012
- [13] SIPROTEC 5 Application Note SIP5-APN-012: *Control of Breaker-and-a-half diameters and double busbar configurations and use of Phasor Measurement Unit (PMU)*.

Автори: Димитър Христов Богданов, доц. д-р инж., катедра „Електроенергетика“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: dbogdanov@tu-sofia.bg ; Нели Харизанова Харизанова, маг. инж., докторант, катедра „Електроенергетика“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: nelly.harizanova@gmail.com

Постъпила на 15. 12. 2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Константин Малчев

АСПЕКТИ НА ЗАЩИТАТА В ДЪЛБОЧИНА НА АТОМНИТЕ ЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ ПО ОТНОШЕНИЕ НА НЯКОИ ВЪНШНИ СЪБИТИЯ

Димитър Богданов

Резюме: Към настоящият момент по света се намират в експлоатация Атомни Електроцентрали (АЕЦ) в 31 държава. В експлоатация са 437 реактора на инсталации за производство на електроенергия с обща мощност от 374 504 MWe. Проблемите свързани с производство на електрическа енергия от фосилни горива очертава перспектива за разширяване на производството на електрическа енергия от АЕЦ. Във връзка с някои събития от последните години – директно свързани или без пряка връзка с обектите на ядрената енергетика, въпросите свързани с безопасността им станаха изключително актуални. При проектирането и експлоатацията на АЕЦ следва да се отчитат максимално широк спектър от събития, които могат да доведат до нарушаване на технологичния им режим.

Ключови думи: атомна електроцентрала, безопасност, външни събития, въздействия, защита в дълбочина

ASPECTS OF THE DEFENSE IN DEPTH OF THE NUCLEAR POWER PLANTS IN RESPECT TO SOME EXTERNAL EVENTS

Dimitar Bogdanov

Abstract: The global tendency of increasing energy consumption indicates that Nuclear Power Plants (NPPs) will be further developed and constructed in order to take share in the energy mix and reduce the level of greenhouse emissions and dependence of fossil fuels. The benefits of nuclear power generation can improve the sustainable development of the economies with relatively low cost and predictable electrical energy output. Currently there is no commercially available competitive technology for electrical energy production without dependence of stochastic factors and with minimal climate impact. In the last several years some events – related directly or not directly related to NPP operation, indicated some issues related to the safety of the NPPs. These issues are related mostly to external events that can obstruct the normal operation of the NPP by jeopardizing the Defense in Depth (DID) concept of the plant.

Key words: nuclear power plant, safety, external events, impacts, Defence in Depth (DID)

GENERAL ASPECTS OF THE DEFENCE IN DEPTH OF THE NUCLEAR POWER PLANTS

Nuclear Power Plants are currently operated in 31 countries around the world. Currently 437 nuclear power reactors are in operation with 374 504 MWe total net installed capacity [1]. The NPPs give a large output of electrical energy taking relatively low ground print and no greenhouse emissions. The increasing demands of electrical energy in global scale indicate that NPPs will be needed as part of the global energy mix. In parallel with the benefits of the NPPs, there are some specific risks related to the technology. The main risk is the possibility for spread of radioactive substances outside of the respective facilities and creating radioactive pollution of open areas in result of obstruction of the normal technological process and consecutive accident [14][15]. The International Nuclear Event Scale gives ranking of the scale of accidents, taking in account the scope of damages and the respective consequences [10]. In relation to prevent such accidents, the defence in depth (DID) concept is applied in the principles of design of the reactor facilities. The concept of DID includes 5 levels of DID [10].

Table 1

Levels of DID	Objective	Essential means
LEVEL 1	Prevention of abnormal operation and failures	Conservative design and high quality in construction and operation
LEVEL 2	Control of abnormal operation and detection of failures	Control, limiting and protection systems and other surveillance features
LEVEL 3	Control of accidents within the design basis	Engineered safety features and accident procedures
LEVEL 4	Control of severe plant conditions, including prevention of accident progression and mitigation of the consequences of severe accidents	Complementary measures and accident management
LEVEL 5	Mitigation of radiological consequences of significant releases of radioactive materials	Off-site emergency response

The levels of DID are related to the different physical barriers of protection of the nuclear fuel and fission products [2][3][4][5]. These barriers are successive physical protections for the confinement of radioactive material [17][18]. Their specific design may vary depending on the activity of the material and on the possible deviations from normal operation, which could result in the failure of some barriers. For water reactors at power operation, the barriers confining the fission products are typically:

- the fuel matrix;
- the fuel cladding;

- the boundary of the reactor coolant system;
- the containment structure.

Different technological designs like BWR (Boiling Water Reactor) and PWR (Pressurized Water Reactor) are related to different extent of the radiological protected and monitored zones, but in any case the containment provides the boundary between the environment and the zone of the reactor. As the containment structure is with significant geometrical size and practically the encapsulating volume for the reactor and other important technological components, it's design is of vital importance for the NPP safety.

RISKS IMPOSED TO NPP DESIGN IN THE LAST YEARS

- **Natural phenomena (consideration of natural phenomena in design)**

In the last several years many events related to natural disasters and other matter indicated some issues related to the design, operation and safety of NPPs. Some of these events did not affect directly NPP operation, but can't be neglected. The 2004 Indian Ocean earthquake and consecutive tsunami that caused severe casualties and material loss was an indication that severe tidal impact may affect sites adjacent to ocean. The 2011 earthquake close to coast of Japan and the caused tsunami besides the severe casualties and material loss caused highest ranking of accident at Fukushima NPP [9][11][12]. The risk of natural phenomena of 30m tidal wave has not been counted in the site selection and respectively caused failure of the plant DID as coming out of the range of the design basis events (DBE).

- **Risks imposed by air traffic (aircraft impact consideration in design)**

In 2014 the loss of flight Malaysia Airlines Flight 370 (MH370/MAS370) which disappeared on Saturday, 8 March 2014, while flying from Kuala Lumpur International Airport to Beijing Capital International Airport, opened another import issue related to air traffic safety. This issue in some extent is related also to NPP design and operation as one potential external event that may affect NPP safety is the impact of aircraft.

What shall be taken in account in the design of NPP related to such risk:

Located near ocean/large sea sites can be more vulnerable to risks of aircraft impact than sites located "deeply in mainland". This problem is related to:

- Proximity of site near overseas and other air traffic corridors;
- Systems for early identification of aircrafts flying where not supposed to, shall response without any delay;
- Procedures for clear reaction if intruder aircraft(s) reach the vicinity of NPP shall be available;

The technical possibilities to locate aircraft (or flying objects in general) flying over sea/ocean shall be re-estimated towards the technological risk of NPPs and other industrial sites. The marine zones of respective coastal countries are typically covered by systems for detection of aircrafts, but the open area outside the respective coastal marine zones can "hide" flying object. In the case of MAS370 – many different theories were announced. One of the possible scenarios unofficially disputed was that the

pilot could have “hijacked” the plane. Such theory could be supported if some debris of the plane are found and mostly if flight recording equipment (“black boxes”, cockpit voice recorder (CVR), flight data recorder (FDR), etc.) are found and decoded. Even if this was not the case for the loss of MAS370, the questions what exactly and why happened with the aircraft remains opened (till the moment of preparing of this paper). The issue of the unknown fate of the missing plane as well as other tragic events related to air traffic in the last years (11.09.2001 /4 planes hijacked/, LAM Mozambique Airlines Flight 470 lost 29 November 2013, SilkAir Flight 185, lost 19 December 1997 and some other incidents) impose the risk of aircraft impact at any site.

Whatever happened to MAS370 very strict control shall be imposed not only to passengers, but to crew members as well. The other issues that may exist: it should not be possible passengers or crew members to access/manipulate and even switch off tracking/position identification systems. It is hard to believe that in the XXIst century when on orbit around the earth there are large numbers of satellites for different purposes like communications, positioning and synchronization, military purposes, etc., a large plane of Boeing 777 sizes can be lost without a trace.

In respect to a particular site – location of NPP or other important facility measures shall be taken in two directions: to minimize the risk of aircraft approaching the vicinity of particular site, or the objects on site to withstand impact. In relation to these concerns, the DiD concept for NPP has to be estimated for plants in operation and mostly for these to be constructed future, in relation to the risks of Aircraft impact:

- (1) primary risk: reactor building external wall damage;
- (2) primary risk: reactor containment damage;
- (3) primary risk: kerosene spill fire – if penetration of aircraft tank in the containment is assumed, the worst case is fire in the zone of cavity between the reactor building external wall and containment wall (if such zone exist);
- (4) Secondary risk: blackout on site;
- (5) Secondary risk: damage of non-safety related systems which may initiate a critical scenario for safe operation;
- (6) panic personnel reactions / inadequate response.

In order to mitigate such risks, the reactor building walls shall be “hidden” as much as possible behind other structures of facilities. Wrapping of safety trains from two or three sides around the reactor building and one side wall protected by turbine hall can be assumed as option for feasible design.

Another option is to “dig down” part of the reactor containment below elevation “zero” for the site. This may seem a step back in respect to modern NPP projects, but can assure protection of impact of aircraft or other flying object.

Option for reactor building side area protection is construction of buffer structures rooms in the periphery of the building, eventually filled with appropriate martial: wafer of mineral wool and metal sheets, gravel etc. Such zones may have effect to damper impact energy and reduce penetrating speed of external objects. General impact prevention of the site can be coordinated if water cooling towers exist. Such

structures by appropriate positioning may help to coordinate the site protection and particularly for the reactor building.

In relation to air traffic risks imposed to design of NPP and related regulatory documents, there shall be defined general requirements imposed to NPP structures to withstand impact of aircrafts under particular conditions. This topic can be quite delicate as the sizes of aircrafts vary in wide spectrum, but some basic level of feasibility shall be required. In the regulations for design of NPP structures – in particular containment buildings - shall be indicated what size of aircrafts can impact them without sustainable damage and technological risk related to radioactive pollution.

The European Aviation Safety Agency (EASA) defines a large aircraft as either "an airplane with a maximum take-off mass of more than 5,700 kilograms (12,600 pounds) or a multi-engine helicopter [24]. In fact, according to the current requirements, continuing airworthiness of large aircraft shall be managed by a CAMO /Continuing Airworthiness Management Organization/, and maintenance of large aircraft shall be performed by a Part-145 approved organization. [Defined in EASA Regulation – Amendment of Implementing Rule 2042/2003, Dated: 13/01/2012, Version 1.] [24]. The US Federal Aviation Administration defines a large aircraft as any aircraft with a certificated maximum takeoff weight of more than 12,500 pounds (5.7 tons). Such weight practically is specific for small size planes. For example the de Havilland DHC-6 Twin Otter is a 19-passenger plane with Maximum takeoff weight (MTOW) 12,500 lb (5,670 kg) [23]. This makes this model stand “on the border” between light and large airplanes, but taking the actual large number of commercially operated models, it’s practically relatively small and light weighted aircraft.

- **Risks imposed by life span (long term exposure to environment)**

Important question related to DID concept: Are DID means / technology feasible for the design life time of the NPP plant?

Typically the new constructed NPP have expected service of 60 years of operation (as declared by different NPP technology vendor companies). For such long period many external impacts shall be counted “in advance”. It shall be taken in advance how the climate changes can affect the operation of the plants: level of sea/rivers, etc. The longtime of exposure to environmental air with related consequences as corrosion in result of condensation, direct and indirect corrosive effect of the atmosphere (with tendency for sustainable air pollution) shall be taken in account in the design of NPP structures and equipment, expected to be in service for the complete period of service.

- **Risks imposed by design specifics (related to site characteristics as well)**

Contradictions in design options:

Example (1): Location of safety DGs – if located in “below ground level” they may be protected well against impacts, storms, cabling can be easy. On the other hand: such position can be vulnerable to flooding [9].

Example (2): Provision of emergency power supply by DGs for active safety systems can be risk full, as they may fail under some severe circumstances. On the other hand: if there are no emergency power supply DGs (seismically qualified to withstand design basis earthquake and some other relevant conditions) there could be

an obstacle to prevent critical state of the reactor facility with all related consequences, for example in case of NPP site blackout.

Example (3): Passive means/engineered features used for coping in case of Loss of Coolant Accident (LOCA). Positive aspect: passive systems may not need power supply after Design Basis Event (DBA). Negative: If fully passive design of systems to cope with LOCA is implemented, all structures related to such functions shall withstand DBA/DBE or even earthquake of higher magnitude. Otherwise LOCA caused by earthquake (or other event) may cause critical situation with no means to mitigate the critical situation. Even if containment integrity is not affected by external or internal events, under particular circumstances as LOCA, hydrogen build up may impose risk of detonation. Hydrogen recombiners must be located at appropriate zones to prevent accumulation of gas. Essential systems and elements for critical response and safety shall be back-upped with power supply, preferably by high capacity batteries. The compact sizes of modern equipment allow also distributed power supply storage and DC distribution to end consumers.

- **Risks imposed by economical misunderstandings (misunderstanding of the benefit of reducing the investment, neglecting the consequences)**

Any economical approach in the design related to safety of NPP shall be estimated very conservatively. For example Fukushima was constructed in sea vicinity to use cooling water directly from the ocean. If site with elevation 40m above sea level (a.s.l.) has been used, the tidal wave shouldn't have affected the facilities. The historical data like for the 1896 Sanriku earthquake [9] also indicate that this height should have been sufficient to prevent accident. Pumping water for cooling of the heat exchangers with pump head of 40 m may not be a feasible from economic point of view, but location on a big river could be a better option. Even location of lower a.s.l. could be acceptable, but deeper in land, as the tidal wave can travel over ground in limited range.

CONCLUSIONS

After the Fukushima accident in 2011 a lot of opinions for the future of the nuclear power generation were stated. Some radical opinions exclude the nuclear power generation as acceptable option for the energy mix, but in the same time do not offer competitive technology for production of electrical energy based on long-live technology with minimal environment/climate impact. The shortage of fossil fuels became a reason for a lot of conflicts in global scale. This makes the nuclear power generation a vital option to reduce greenhouse emissions, reduce utilization of fossil fuels and make possible the “sustainable development” plans of large economies. In the same time a lot of disturbing events impose maximal level of observation of the rules for safety of the NPPs. The last years indicated that the rules for safety need general overview and actualization [17].

The safety rules shall state very strict requirements for site selection of NPP, taking in account previous events that have affected the respective zone, and in the same time taking in account predictable environmental changes that may affect it in the future – obligatory for the design operational life of the plant [22].

Any economical approach in the design of NPP related to safety shall be estimated very conservatively. The economical (lower-construction cost oriented) approach may lead to fatal consequences. Historical data shall not be omitted. The design basis of the plant shall take in account not only generalized statistical data, but must take in account the “peak values”. Generalized (“smoothened”) data may hide serious risks [6][7][13][16].

The implementation of safety systems shall make balance between active and passive safety systems. The balance between active and passive features shall be made in order to have design allowing not only coping with failures and their consequences, but having sufficient means to prevent them, or limit their extent. Relying only on passive systems can lead to oversizing of structures and may tend to common cause failures. The balance between the different safety means shall take in account also the site characteristics [19][20][21].

The design of the structures of the NPP and the arrangement of the safety systems shall be combined in such way to achieve maximal physical protection of the reactor building and respectively of the containment of the reactor.

The design of the electrical power systems shall include more options for flexibility in different scenarios. Mobile generators, pumps and auxiliary equipment shall be available, at the site of the NPP and in relatively close vicinity, but far enough and located at such protected place, not to be affected by eventual site accident [25].

In order to provide maximal safety of nuclear facilities special attention for protection – respectively DID approach must be applied also to spent fuel pools, dry cask storage facilities and storages/treatment facilities with radwaste. Although this article is oriented to NPPs, most of the mentioned risks shall be taken in account in other facilities with increased technological risk for the environment.

REFERENCES

- [1] IAEA, Power Reactor Information System site: <http://www.iaea.org/pris/>
- [2] IAEA Safety Glossary, Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection, 2007.
- [3] IAEA, Fundamental Safety Principles, SF-1, 2006.
- [4] IAEA, General Safety Requirements Part 4, SR Part 4, 2009.
- [5] IAEA, Safety of Nuclear Power Plants: Design, Specific Safety Requirements, SSR-2/1, 2012.
- [6] IAEA, Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for nuclear Power Plants, Specific Safety Guide, SSG-3, 2010.
- [7] IAEA, Development and Application of Level 2 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants Specific Safety Guide, SSG-4, 2010
- [8] IAEA, Site Evaluation for Nuclear Installations, NA-S-03, 2003.

- [9] IAEA, Mission Report – The Great East Japan Earthquake Expert Mission – IAEA International Fact Finding Expert Mission Of The Fukushima Dai-ichi NPP Accident Following The Great East Japan Earthquake And Tsunami, 24 May – 2 June 2011.
- [10] INSAG, Defense in Depth in Nuclear Safety, INSAG-10, IAEA, Vienna (1996).
- [11] World Nuclear Association Site: <http://www.world-nuclear.org>.
- [12] World Nuclear News. Event scale revised for further clarity. 06.10.2008 <http://www.world-nuclear-news.org>.
- [13] U.S. NRC, PRA Procedures Guide: A Guide to the Performance of Probabilistic Risk Assessments for Nuclear Power Plants (NUREG/CR-2300).
- [14] WENRA RHWG, Reactor Safety Reference Levels, 2008.
- [15] WENRA RHWG, Safety Objectives for New Power Reactors, 2009.
- [16] A. Lyubarskiy, I. Kuzmina, M. El-Shanawany (IAEA), “NOTES on Potential Areas for Enhancement of the PSA Methodology based on Lessons Learnt from the Fukushima Dai-ichi Accident”.
- [17] Dominique Delattre (IAEA), “Safety Standards and their Role, IAEA Response to the TEPCO’s Fukushima Dai-ichi NPPs Accident”, EC Workshop how to improve safety in regulated industries, What could we learn from each other?, Luxemburg, 16-17 October 2012.
- [18] Javier Yllera (IAEA/NSNI), “Safety Requirements / Design Criteria for SFR, Lessons Learnt from the Fukushima Dai-ichi Accident”, 3rd Joint GIF-IAEA, Workshop on Safety Design Criteria for Sodium-Cooled Fast Reactors Vienna, 26-27 February 2013.
- [19] WENRA RHWG, Report Safety of new NPP designs, March 2013.
- [20] WENRA RHWG, Safety Reference Levels for existing reactors, Update in relation to lesson Levels for existing TEPCO Fukushima Dai-ichi accident, November 2013.
- [21] U.S. NRC Recommendations for Enhancing Reactor Safety in the 21st Century, 2011.
- [22] IAEA, A Methodology to Assess the Safety Vulnerabilities of Nuclear Power Plants against Site Specific Extreme Natural Hazards, 2011.
- [23] http://en.wikipedia.org/wiki/De_Havilland_Canada_DHC-6_Twin_Otter.
- [24] EASA Regulation – Amendment of Implementing Rule 2042/2003, Dated: 13/01/2012, Version 1.
- [25] Dimitar Bogdanov. Nuclear power plant station blackout – causes, risks, options to mitigate the consequences. Proceedings of the conference of the faculty of electrical engineering of TU-Sofia, Sozopol, Bulgaria, 2012.

Author: Dimitar Bogdanov Assoc. Prof. PhD, Department of “Electric Power”, Faculty Electrical Engineering, Technical University of Sofia, E-mail address: dbogdanov@tu-sofia.bg

Received: 15 December 2015

Reviewer: Assoc. Prof. PhD Petar Kaleychev

ИЗСЛЕДВАНЕ НА НОВ ТИП МНОГОФУНКЦИОНАЛНО МИКРОПРОЦЕСОРНО УСТРОЙСТВО ЗА РЕЛЕЙНА ЗАЩИТА НА СИНХРОНЕН ГЕНЕРАТОР

Димитър Богданов, Стефан Янчев

Резюме: В статията са представени резултати от изследване на многофункционално устройство за релейна защита за синхронен генератор с функции за измерване, управление, контрол и комуникация - BE1-11g. Анализирани са характеристиките му и са проверени някои функции използвани за защита. Проведените изследвания дадоха възможност за положителна оценка на устройството. Установено бе, че структурата на софтуера и хардуерното изпълнение на устройството са разработени по добър начин. Конструкцията на устройството и характеристиките му дават възможност за приложението му както в намиращи се в експлоатация, така и в нови уредби.

Ключови думи: релейна защита, микропроцесорна, генератор, изследване

EXPERIMENTAL STUDY ON MULTIFUNCTION MICROPROCESSOR DEVICE FOR RELAY PROTECTION OF SYNCHRONOUS GENERATOR

Dimitar Bogdanov, Stefan Yanchev

Abstract: In the article are presented results of experimental testing of Multifunction microprocessor devices for relay protection of synchronous generator with functions for measurement, management, control and communications type BE1-11g. The characteristics of the device have been analyzed, and some particular protection functions has been experimentally tested in the "Relay protection" laboratory of the "Electrical power engineering" chair of the Faculty of Electrical engineering of the Technical University of Sofia. The performed experiments proved excellent performance, convenient software and very flexible hardware design. The conclusion was that such type of design makes the device very convenient for utilization in new objects or retrofit of existing facilities for generator protection.

Keywords: relay protection, multifunctional, digital, IED, generator, testing

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Многофункционалното устройство за релейна защита BE1-11g (производство на Basler Electric Ltd, САЩ) [1] осигурява обширен набор от защитни функции за откриване на повреди и анормални работни условия в синхронни генератори, заедно с управляващи и измервателни функции в един интегриран модул. Набо-

рът от функции на BE1-11g дава възможност за приложения за генератори и блок генератор – трансформатор. Цифровата обработка на сигнали с тридесет и две измервания за цикъл с честотна компенсация извлича съставката с основен хармоник с висока точност при изкривена форма на сигналите и при честота извън номиналния обхват (извън номиналната промишлена честота на съответната ЕЕС).



Фиг.1. Многофункционално микропроцесорно устройство (цифрова релейна защита) BE1-11g за защита на синхронен генератор

2. Някои основни характеристики на генераторна защита BE1-11g

Многофункционалното цифрово устройство за релейна защита има набор от функции за защита на генератор, включително надлъжна диференциална токова защита. Устройството има две групи трифазни токови измервателни входове и група напреженови измервателни входове за осигуряване на защитните функции. Напреженовите измервателни вериги се конфигурират софтуерно за различните възможни схеми на свързване на измервателните трансформатори. Предвиден е четвърти допълнителен вход за измерване на напрежението. Допълнителният напреженов вход може да се използва или за генераторна земна защита за измерване на напрежението на нулева последователност или за контрол на синхронизма чрез измерване на напрежението на шините. За сигналите снетни от входните токови вериги е предвидена компенсация на групата на свързване на повишаващия трансформатор, което улеснява прилагането на устройството при защита на блок генератор-трансформатор. Предвидени са богат набор от токови функции. Всички токови елементи могат индивидуално да бъдат посочни (права или обратна посока спрямо мястото на измерване), както и непосочни, с контрол или блокировка по напрежение.

Таблица 1

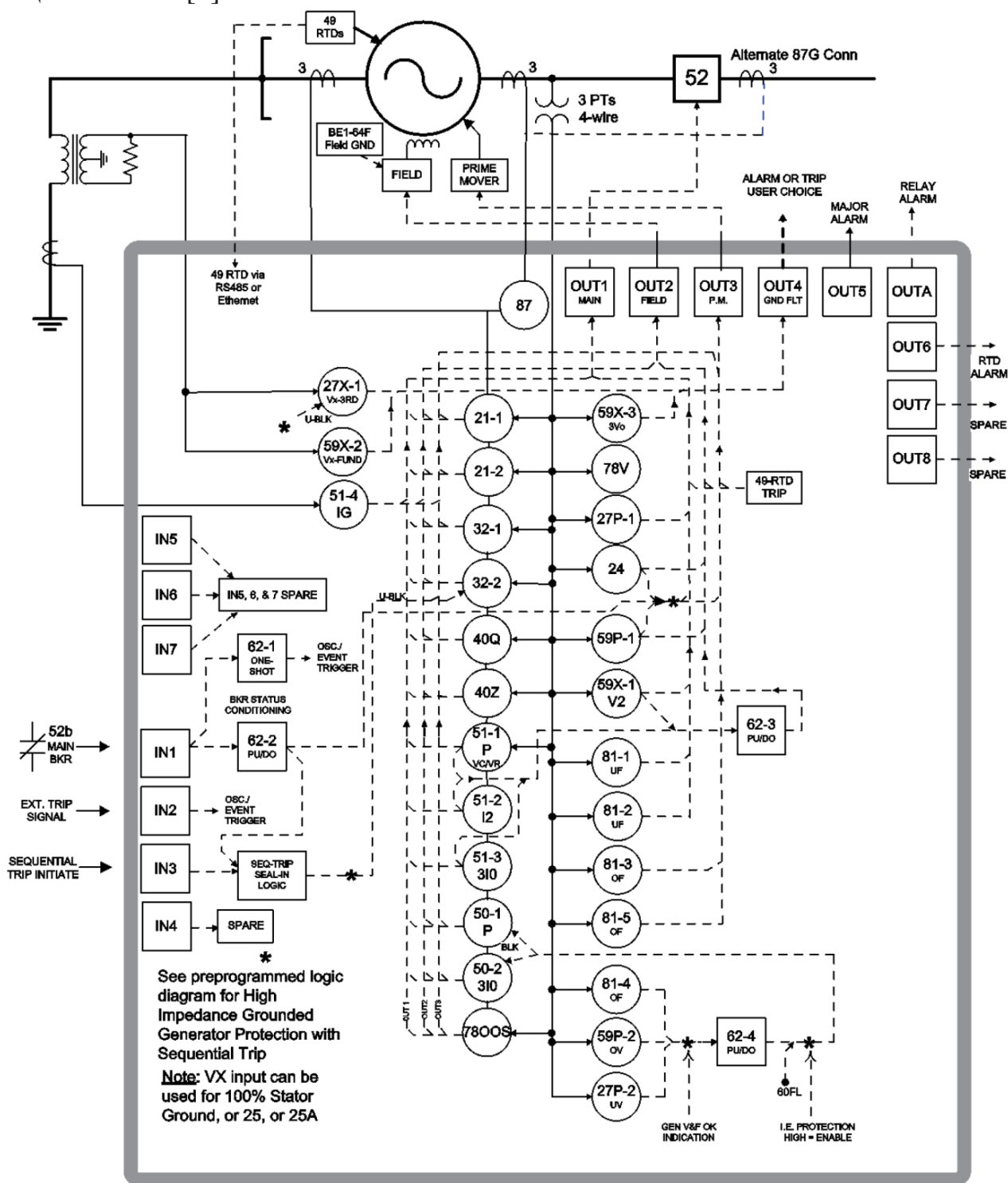
Индекс по IEEE (ANSI)	Функция на BE1-11g	Описание на функция съответстваща на код по ANSI	Multifunction (1) BE1-11g X = налична
21	21	Дистанционна (импедансна) защита	X
24	24	Свърхвъзбуждане (преманагнитване)	X
25	25	Синхронизация / Проверка за синхронизъм	X
25A	25A	Автоматична синхронизация	X
27	27	Понижено напрежение	X
27/50IE	50/51B, 50, 27	Максималнотокова без закъснение (Токова отсечка)	X
		Максималнотокова времезависима с прагова или времезависима характеристика	
27/59	27/59	Понижено напрежение/Свърхнапрежение	X
32	32R, 32O/U	Посочно мощностно реле	X
40	40Q	Реле за контрол на възбудителния ток	X
46	46N	Обратна фазова последователност /	X
		Фазов дисбаланс / Максималнотокова по отношение на тока на обратна последователност	
47	47N	Функция за фазова последователност	X
49	49	Термично реле	X
50/51G (2)	50/51B, 51	Максималнотокова без закъснение (Токова отсечка)	X
		Максималнотокова времезависима с прагова или времезависима характеристика	
50/51N (3)	50/51B, 51	Максималнотокова без закъснение (Токова отсечка)	X
		Максималнотокова времезависима с прагова или времезависима характеристика	
50/87	50/51B, 50	Максималнотокова без закъснение (Токова отсечка)	X
		Диференциална функция за защита	
51P	50/51B, 51	Максималнотокова без закъснение (Токова отсечка)	X
		Максималнотокова времезависима с прагова или времезависима характеристика	
51VC	51/27C	Времезависима характеристика с контрол по напрежение	X
51VR	51/27R	Времезависима характеристика с	X
		блокировка по напрежение	
59P	59	Свърхнапрежение	X
59N, 27-3N, 59P	59N	Фазно пренапрежение/Мониторинг за трети хармоник	X
		Функция за напрежението в нулалата	
60FL	60	Балансно реле за ток – напрежение – реагира на	X
		определена разлика на токове или напрежения	
67IE	67	Посочно максималнотоково реле	X
81	51O/U	Функция за следене на честотата	X
87	87G	Диференциална защита	X
87N	67N	Посочно максималнотоково реле за ток в нулалата	X
87UD	87T	Диференциална функция за трансформатор	X

- (1) Не са показани всички функции. Устройството има 4 групи настройки. Може да има различни стойности за настройка в различните групи.
- (2) 50/51G - Функцията ползва сензор за тока на нулева последователност.
- (3) 50/51N - Функцията изчислява тока на нулева последователност (3I₀) от фазните токове.

При МТЗ са възможни четири таблично дефинирани (от потребителя) и двадесет и четири стандартни времезависими криви за реализация на защита по термичен модел. BE1-11g притежава независим токов вход за ток на нулева последователност за приложения за земни защиты, където това се изисква. В набора от функции са включени импедансна защита (с кръгова „МНО” характеристика) и разпознаване на люлеене. Предвидена е и функция за защита от загуба на синхронизъм.

Този модел генераторни защиты са снабдени с жичен и оптичен Ethernet и RS-485 портове за комуникация по Modbus™ и DNP 3.0 протоколи. Разполага и с

високоскоростен BESTCOMPlus потребителски интерфейс, чрез USB порт на лицевия панел [2].



Фиг.2. Пример за свързване на устройство за защита на генератор VE1-11g.

Има възможност информацията за възникнали проблеми да се изпраща на интернет страница и потребителски имейл. Сред предимствата на генераторната защита VE1-11g са: разширена енергонезависима памет за събития, часовник за астрономическо време с батерия за поддържане за период от 5 години, удобен (128x64) LCD дисплей с контрастна визуализация подобряваща локалните средства за измерване и сигнализация, напълно изваждаема конструкция.

В табл.1 е представен наборът от функции на BE1-11g. На фиг.2 е представен пример за свързване на устройство за защита на генератор BE1-11g [2].

Всяка от защитните и управляващи функции на BE1-11g е изградена като независим функционален блок, еквивалентен на единичната функция на съответното конвенционално (електромеханично/аналогово) устройство за защита. Всеки независим функционален блок има всички входове и изходи, които съответното дискретно устройство може да има. BE1-11g може да запомни като потребителски настройки потребителска логическа схема. За спестяване на време при настройване и конфигуриране, са предвидени няколко предварително програмирани логически схеми. Всяка от тези схеми може да бъде копирана в потребителската логика без допълнителни настройки със софтуера за *BESTLogicPlus*. Софтуерът *BESTLogicPlus* дава на релейния инженер гъвкавост за настройка и конфигуриране със същата свобода, с която се конфигурират и конвенционални устройства, но при много разширени функционални възможности и компактно изпълнение.

3. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФУНКЦИЯТА ЗА МАКСИМАЛНОТОКОВА ЗАЩИТА (МТЗ) С ВРЕМЕЗАВИСИМИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА BE1-11g

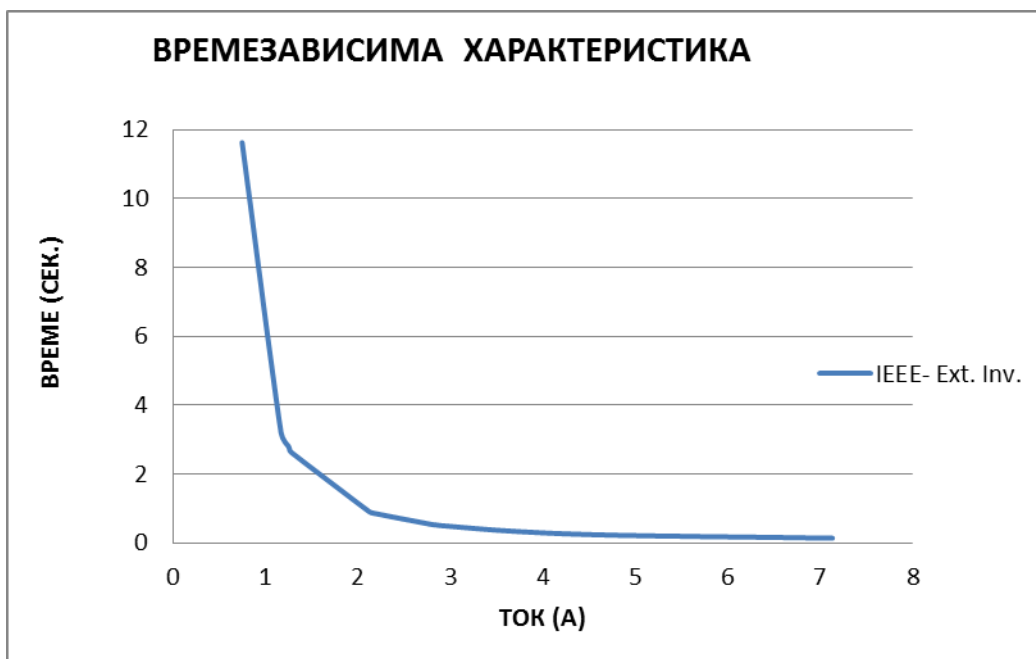
В лаборатория „Релейна защита“ към ТУ-София бяха извършени лабораторни изследвания за проверка на МТЗ с времезависими характеристики. Експериментите за проверка на МТЗ с времезависими характеристики бяха проведени с електронно товарно устройство Sverker 760. Резултатите от изследване на функцията за МТЗ с времезависима характеристика „IEEE екстремно зависима” са представени в табл.2. Настроените параметри на функцията за защита:

- Заработване по ток – 0.5А;
- Времеzakъснение – 0.5s;
- Крива - IEEE – Екстремно зависима (екстремално зависима);
- Посока – непосочена;
- Нулиране на времето – мигновено.

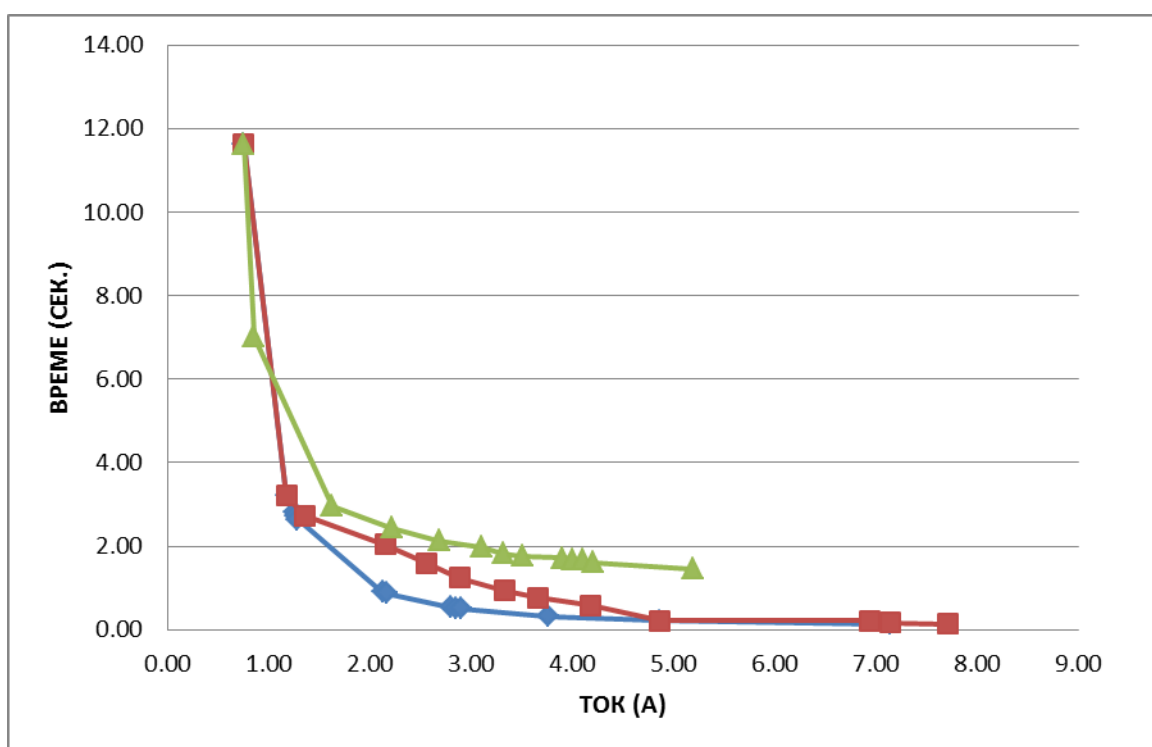
Таблица 2

ТОК (А)	0,75	1,17	1,25	1,26	1,28	2,12	2,16	2,80	2,84	2,90	3,76	4,86	7,13
ВРЕМЕ (сек.)	11,63	3,20	2,81	2,74	2,63	0,91	0,87	0,53	0,52	0,50	0,32	0,21	0,13

Направените измервания за 13 точки с товарно устройство Sverker 760 показва заработване на защитата по настроената времезависима характеристика. При по-голям ток защитата заработва за минимално време, съответстващо на уравнението на характеристиката. При малък ток функцията се активира при по-голямо време определеното от времезависимата характеристика. Собственото време на релето BE1-11g е отчетено 0.23 ms.



Фиг.3. Времева зависима характеристика по IEEE – Екстремно зависима.



Фиг.4. Сравнение между теоретичните криви на времезависимите характеристики и експериментално снетите.

На фиг.4 е направена съпоставка на теоретичните криви на времезависимите характеристики и експериментално снетите. Времева зависимата характеристика за всяка крива се описва със следните изрази, в съответствие с IEEE Std C37.112-1996 за времената на зареждане и връщане на елемента:

$$T_T = \frac{A.D}{M^N - C} + B.D + K \quad (1)$$

$$T_R = \frac{R.D}{|M^2 - 1|} \quad (2)$$

където:

D = Коефициент на мащаба,

M = Множител за заработване

A, B, C, N, K и R = константи, определящи формата на всяка крива.

Представени са резултатите от опити с настроени характеристики:

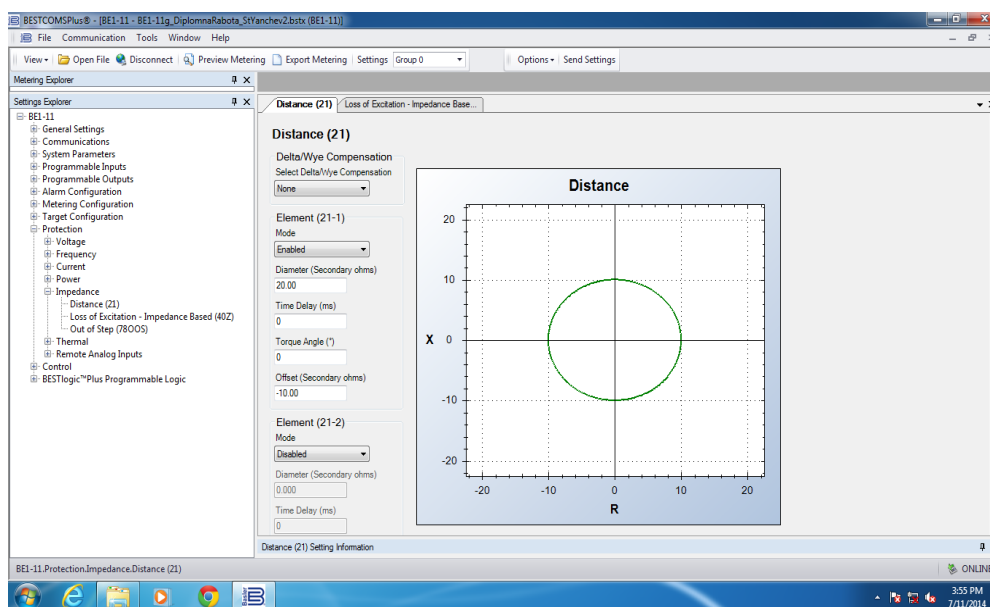
- IEEE Екстремно зависима;
- IES Зависима;
- IES Екстремно зависима.

На фиг.4 няма по 2 криви за всеки тип, тъй като получените от опитите стойности се припокриват с теоретичните.

След направените измервания се налага изводът, че генераторната защита BE1-11g заработва правилно. Отчетените точки съвпадат с предварително зададената времезависима характеристика. Може да се направи заключение, че устройството за защита заработва нормално и е годно за експлоатация по отношение на МТЗ с времезависима характеристика.

4. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИМПЕДАНСНАТА ФУНКЦИЯ ЗА ЗАЩИТА НА BE1-11g

Проведено бе лабораторно изследване на функцията за импедансна защита (21 – табл.1) при настройка за получаване на характеристиката „централна окръжност“ положение на центъра „-10 Ω“ (изместване на центъра минус 10 Ω във вторични омове). На фиг.5 е представен изглед на екрана на софтуера за настройка за тази функция.



Фиг.5.

Настройки на импедансна защита (21-тъл. 1) за централна окръжност:

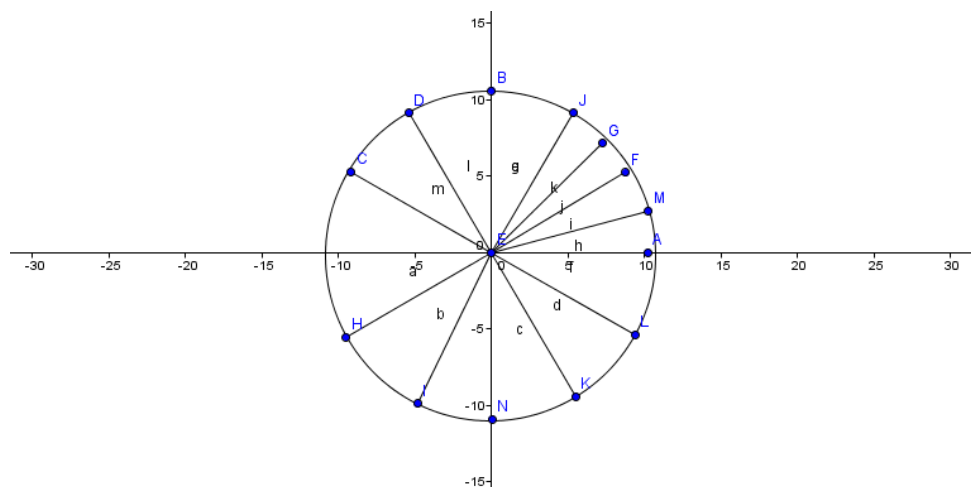
- Диаметър (вторични омове): 20.0 Ω;
- Времезакъснение: 0s;
- Изместване (вторични омове): -10.0 Ω;
- Ъгъл на максимална чувствителност: 0°.

При задаване на изместване от 0.0Ω , центърът на окръжността е на разстояние $1/2$ от диаметъра от началото на координатната система. За получаване на централна окръжност на настроената характеристика е необходимо центърът да бъде изместен с половината от диаметъра в отрицателна посока.

В табл.3 са представени резултати от изпитване на импедансна функция за защита на BE1-11g. На фиг.6 е направено графично представяне.

Таблица 3

Данни от изпитването на импедансната защита BE1-11g при $I=0,5A$	
Градуси[°]	0 15 30 45 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360
U[V]	10,2 10,2 10,2 10,2 10,2 10,6 10,6 10,6 10,8 11 11 10,9 10,9 10,8 12



Фиг.6.

След направените измервания се вижда, че импедансната защита BE1-11g работва правилно, отговаря на настроените посредством софтуера характеристики и параметри. В резултат на тези измервания може да се направи заключение, че по отношение на импедансната функция за защита, BE1-11g работва правилно и е годна за експлоатация [3].

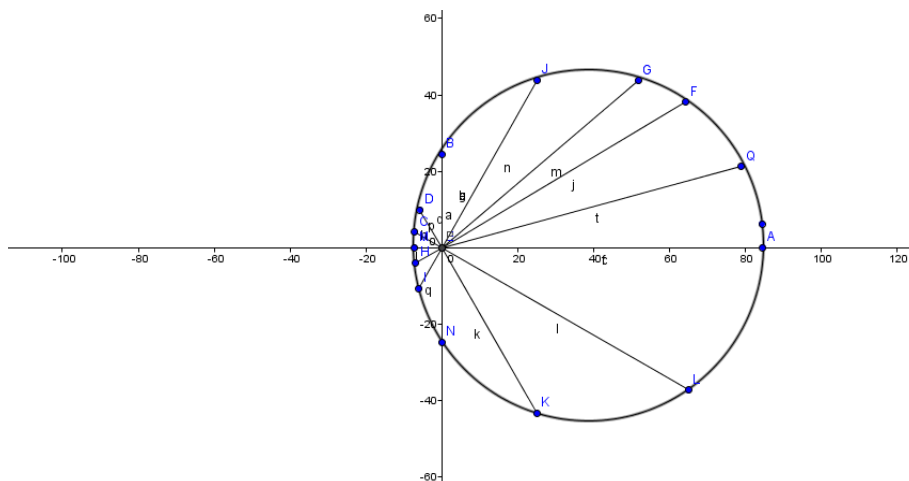
Проведен бе опит при изместена характеристика и следните настройки:

- Диаметър (вторични омове): 100.0Ω ;
- Времетраеност: $0s$;
- Изместване (вторични омове): -5.0Ω ;
- Ъгъл на максимална чувствителност: 0° .

В табл.4. са представени резултати от изпитване на импедансна функция за защита на BE1-11g. На фиг. 7 е направено графично представяне.

Таблица 4

Данни от изпитването на импедансната защита BE1-11g при $I=0,5A$	
Градуси[°]	0 15 30 45 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360
U[V]	84.5 81.5 74.8 67.5 50.5 24.5 11.5 8.2 7.5 8 12.2 25 50 75 84.5



Фиг.7. Резултати от изпитването на BE1-11g при диаметър 100.0 Ω – с изместване -5 Ω и начертана окръжност.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микропроцесорното устройство за защита BE1-11g е многофункционално устройство, което осигурява функции за електрическа защита на синхронен генератор. Софтуерът на устройството дава възможност за удобна и гъвкава работа за конфигурация на защитата.

Устройството е компактно, като същевременно благодарение на високата функционалност позволява изпълнение на много ефективни решения за управление и защита. Използваните нови типове интегрални схеми и спомагателни елементи са довели до значително намаляване на потребяването на енергия за оперативно захранване и минимален товар на веригите на измервателните трансформатори.

Интегрирането на пълен комплект функции в едно устройство позволява повишаване на надеждността на системата за защита на съответния обект. На база на два модула BE1-11g може да се изгради резервиране на функциите за защита на съответния обект [5][6].

Допълнително към бинарните входове на устройството може да се подават сигнали от допълнителни технологични защиты. Това може да се използва при защита на блок генератор – трансформатор за интегриране на някои от функциите за защита и на трансформатора – регистриране на активиране на система за разпознаване на частични разряди, термичен мониторинг и др.[7][8].

Като цялостно функционално решение: BE1-11g може да се използва за надграждане на съществуващи генераторни уредби и е много удобна за приложения при изграждане на нови. Компактната конструкция улеснява монтажът, свързването на външните връзки. Наличието на възможност за различни типове интерфейси позволява интегриране към система за управление и защита на обекта (SCADA) система.

Изследваните функции показват добро съвпадение между настройките и стойностите на заработване. Микропроцесорното устройство за защита BE1-11g е подходящо както за вграждане както в нови обекти, така и за модернизация на съществуващи обекти – електроцентрали.

Предоставеният образец на многофункционално устройство за защита BE1-11g от фирма Basler Electric на лаборатория „Релейна защита“ ще спомогне за запоз-

наването на студентите и докторантите с най-новите типове многофункционални генераторни защиты [9].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Basler Electric Ltd. BE1-11g Manual. 2013.
- [2] Basler Electric Ltd. BESTCOMSP*lus* – Software description 2013.
- [3] Basler Electric. Generator application guide, Rev. Feb. 2013.
- [4] Torsten Schierz. Generator protection: testing of selected protective functions – Recommendations. PACWORLD, March 2013.
- [5] Yalla M.V.V.S. (Chairman) Working group G11 of the rotating machinery protection subcommittee – Power systems relaying committee. Application of multifunctional generator protection systems. IEEE Tr-ns on Power delivery, 1999 V14, N4, 1285-1294.
- [6] Dimitar Bogdanov. Redundant design of relay protection system for power plant unit with synchronous generator. 2014 IEEE SIELA Conference, Bourgas, Bulgaria.
- [7] Petkova N., Mladenov V., Nakov P., “Application of Monitoring System for Transformer Substations”, Proceedings of 8th Summer school ‘Advanced aspects of theoretical electrical engineering’, 19-22 September 2010, Part II: Regular Papers, ISSN 1313-9487, pp. 90-94, Sozopol, Bulgaria.
- [8] Petkova N., “A New Method for a Real State of Power Transformers Based on the Area of Partial Discharge”, Proceedings of 9th Summer school ‘Advanced aspects of theoretical electrical engineering’, 7 - 9 September 2012, ISSN 1313-9487, pp. 185 – 189, Sozopol, Bulgaria.
- [9] М. Кънева, Д. Стоилов, Д. Богданов, Д. Тодоров, Д. Дачев, Р. Станев Ръководство за упражнения: “Manual on electrical power systems management”. Издателство на ТУ-София., София 2011.

Автори: Димитър Христов Богданов, доц. д-р инж., катедра „Електроенергетика”, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: dbogdanov@tu-sofia.bg ; Стефан Янков Янчев, маг., инж., Енергиен Системен Оператор (ЕСО ЕАД), E-mail adress: stefan_yanchev@abv.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Ангел Цолов

ИНДЕКСИРАНА БИБЛИОГРАФСКА СПРАВКА ОТНОСНО АНАЛИЗ НА НОРМАЛНИ И АВАРИЙНИ РЕЖИМИ ПО ДАННИ ОТ АВТОМАТИЧНИ РЕГИСТРАТОРИ

Десислав Тодоров

Резюме: В работата е представен процесът на събиране и структуриране на информация за литературни източници, алгоритъм за генериране на индексирана библиографска справка и статистически резултати от анализа на разработената базата от данни.

Ключови думи: индексирана библиографска справка, анализ на нормални и аварийни режими

AN INDEXED BIBLIOGRAPHY ON FAULT SECTION ESTIMATION IN ELECTRIC POWER PLANTS, ELECTRICAL SUBSTATIONS, ELECTRIC TRANSMISSION AND DISTRIBUTION NETWORKS

Desislav Todorov

Abstract: In this work are presented bibliography database preparation, algorithms for indexed bibliography development and statistical results of research.

Keywords: indexed bibliography, fault section estimation

1. ВЪВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА

Съвременните електроенергийни обекти са изградени с дълбока степен на автоматизация на производствените процеси. Всички данни от възникнали събития биха могли да бъдат съхранявани и използвани за последващ анализ на процеси и явления. Понякога получената информация е непълна и/или съдържа огромен брой записи, чиято обработка отнема значителен период от време. За решаване на тези задачи са разработени различни прогностични алгоритми, чието систематизиране е цел на настоящото литературно изследване.

Първоначалната библиографска справка, за настоящата разработка, бе изградена по методологията разработена от проф. Николов, стр. 34, [1]. При изпълнение на първи етап бяха посетени посочените в [1] бази от данни, базата от данни на IEEE и бе извършено търсене по ключова дума в приложението Google Scholar. Всички търсения бяха извършени единствено по ключова дума – специфична за представеното изследване. Първоначалната база от данни бе изградена от около 2000 библиографски записа. Ресурсното време, за завършване на този етап, бе около 8 работни часа.

2. ИЗПОЛЗВАНИ МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА РЕШАВАНЕ

В изследването бе взето решение за използване на софтуер за управление на библиографски записи. След анализ на наличните възможности бе избрана програмата JabRef поради следните особености:

- Софтуерът е безплатен;
 - Възможност за работа с BibTex библиографски записи;
 - Платформена независимост на продукта – възможност за работа под Windows и Linux;
 - Възможност за директно търсене в различни библиографски бази данни;
 - Възможност за обработка на библиографска база данни без необходимост от интернет връзка.

Подобни характеристики има и безплатният софтуер Dosear. Съществено негово предимство е визуализация на информацията във вид на мисловни карти. За съжаление работеща версия на този продукт бе публикувана след 2012 година.

JabRef даде много добра възможност за първоначална обработка на базата данни и автоматично откритите повтарящи се записи бяха отстранени. Последващото търсене на дублирани публикации продължи с автоматизирано лексикографско сортиране по автор и статия. Приоритет при ръчното отстраняване на записите бе даден на базите данни SCOPUS и IEEE. При наличие на еднакъв запис, в двете бази данни, той не бе изтриван с оглед на последващата задълбочена обработка на резултатите. След отстраняване на повтарящите се записи бе извършено синтезиране на библиографска база данни, строго насочени към анализа на нормални и аварийни режими в електроенергийни обекти, по заглавия на статии. Описаните в този етап действия отнеха около 40 работни часа. В резултат на извършената работа базата данни бе редуцирана до около 300 записа. Така разработената база от данни бе подложена на детайлна обработка, включваща:

- Сравнение на дублираните в IEEE и SCOPUS записи по пълнота на информацията;
- Прочитане на резюмета, на публикации, и преценка за целесъобразност по изследваната тематика
- Проверка за достоверност на записи, непубликувани в IEEE база данни и без идентификатор на цифров обект (DOI номер);
- Разработване пълни на библиографски записи съгласно BibTex формат.

Посочената стъпка бе осъществена за около 20 работни дни. Основна част от дейността бе свързана с проверка на достоверността и разработването на пълни записи. Окончателната база от данни бе редуцирана до 219 записа.

Следващ етап в изследването бе получаване на достъп до пълните текстове на публикациите. За целта, първо, бе извършена проверка за наличие на свободен достъп до записите. Разработването на библиографската база от данни, при използване на представената последователност, бе осъществено за около 3 работни месеца.

Поради ограничения финансов ресурс, бе извършено приоритизиране на публикациите и тяхното закупуване. Като резултат базата данни бе запълнена с препратки към 161 файла, с което работата по изграждане на библиографската база от данни бе преустановена.

Всички посочени дотук етапи бяха извършени за около 6 календарни месеца, като в този период е включено самообучението при работа с инсталирания софтуер и различните интернет платформи.

3. НОВИ СРЕДСТВА ЗА РЕШАВАНЕ НА ИНДЕКСИРАНА БИБЛИОГРАФСКА СПРАВКА

За разработване на индексирания библиографска справка бе използван шаблонът, разработен и приложен от проф. Аландер [2], в повече от 80 публикации. Използваната форма е съставена от два раздела:

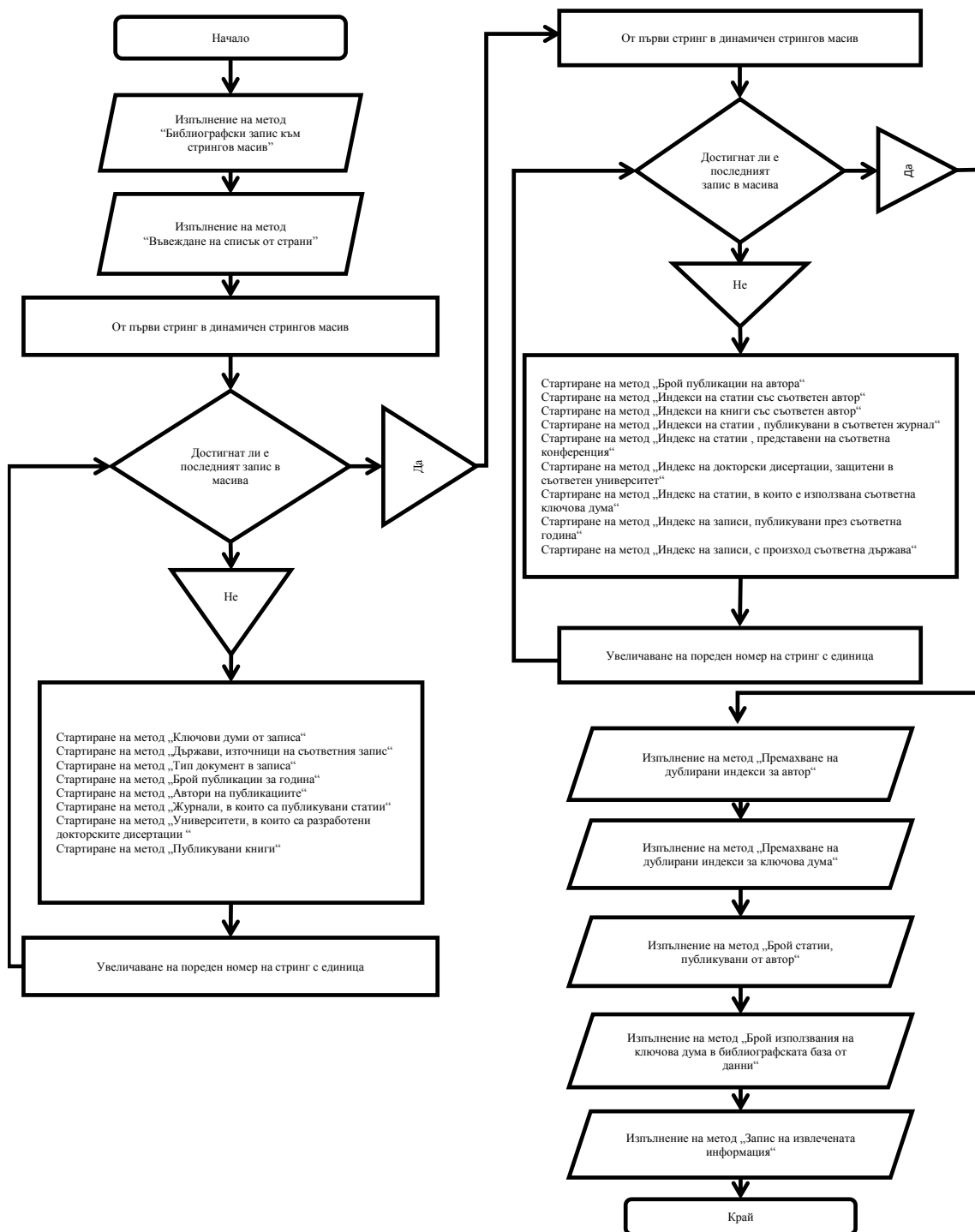
- Статистическа информация
 - Тип публикация
 - Разпределение на публикациите по години
 - Класификация по ключови думи
 - Автори
 - Географско разпределение
 - Изводи и заключения
- Индекс
 - Книги
 - Публикации в журналы
 - Дипломни работи
 - Докторски дисертации
 - Магистърски дипломни работи
 - Доклади
 - Патенти
 - Автори
 - Ключова дума
 - Индексиране по години
 - Географски индекс

Поради големия обем информация бе разработен софтуерен продукт за генериране на търсените резултати. По същество бе необходимо да се извлече информация от стрингови масиви с полета, представени в табл.1.

Представеният алгоритъм (фиг.1) е разработен на езика C# и програмна среда Microsoft Visual Studio. Програмният продукт е изграден от 537 реда код. Използваните структури от данни са “динамичен масив” и “речник”. Поради необходимостта от лексикографска подредба на резултатите при поредната преработка на софтуера бе използвана структура от данни “подреден речник”. В резултат времето за изпълнението на програмата се увеличи близо пет пъти – до 5 секунди. След запълване на структурите от данни съществена част от работата на алгоритмите бе свързана с търсене на данни в „речник“, по ключ.

Таблица 1: Структура на библиографски записи

Поleta в различни типове библиографски записи			
Статия	Статия на конференция	Докторска дисертация	Книга
<pre>@Article{ bibkey, Title= {}, Author= {}, Journal = {}, Year = {}, Note = {}, Number = {}, Pages = {}, Volume = {}, Abbrev_source_title = {}, Abstract = {}, Affiliation = {}, Author_keywords = {}, Codex = {}, Correspondence_ad dress = {}, Document_type = {}, Doi = {}, ISSN = {}, Keywords= {}, Language = {}, Owner= {}, References = {}, Source = {}, Timestamp = {}, Url = {} }</pre>	<pre>@Conference{ bibkey, Title = {}, Author = {}, Booktitle = {}, Year = {}, Address = {}, Note = {}, Number = {}, Pages = {}, Volume = {}, Abbrev_source_title= {}, Abstract = {}, Affiliation = {}, Author_keywords = {}, Correspondence_address = {}, Document_type = {}, File = {}, Journal = {}, Keywords = {}, Language = {}, Owner = {}, References = {}, Source = {}, Sponsors = {}, Timestamp = {}, Url = {} }</pre>	<pre>@PhdThesis{ bibkey, Title = {}, Author = {}, School = {}, Year = {}, Abstract = {}, File = {}, Owner= {}, Timestamp = {} }</pre>	<pre>@Book{ bibkey, Title= {}, Author= {}, Editor= {}, Publisher = {}, Year= {}, Abstract= {}, File={}, Journal = {}, Owner= {}, Timestamp = {} }</pre>



Фиг.1. Алгоритъм на основната програма за генериране на индексирана библиографска справка.

Установи се, че причина за значителното увеличаване на времето за изпълнение на програмата е частичното използване на структура „балансирано двоично дърво“ (“подреден речник”) вместо хеш таблица (“речник”) [3], което ще се вземе предвид при следващата версия на софтуера.

При изграждане на библиографската база от данни и нейната обработка не бе обърнато внимание на различията в стилового изписване на авторите на публикациите. За правилната работа на програмата се наложи ръчно преработване на голяма част от записите.

4. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИ, ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от използване на разработената програма са представени на фиг.2-фиг.6 и в табл.2-табл.6

Таблица 2: Публикации по години

година	брой записи за година	година	брой записи за година
1986	1	2002	15
1989	1	2003	6
1992	2	2004	16
1993	3	2005	15
1994	6	2006	9
1995	7	2007	33
1996	4	2008	26
1997	5	2009	19
1998	4	2010	13
1999	5	2011	11
2000	9	2012	1
2001	8		

Таблица 3: Най-продуктивни автори по тематиката

автор	брой публ.
Kezunovic, M.	47
Bi, T.	14
Wu, F.	13
Ni, Y.	12
Wen, F.	12
Wu, F. F.	10
0 автори	9
2 автори	8
2 автори	7
1 автор	6
7 автора	5
10 автора	4
16 автора	3
58 автора	2
308 автора	1

Таблица 4: Разпределение на публикациите по държави

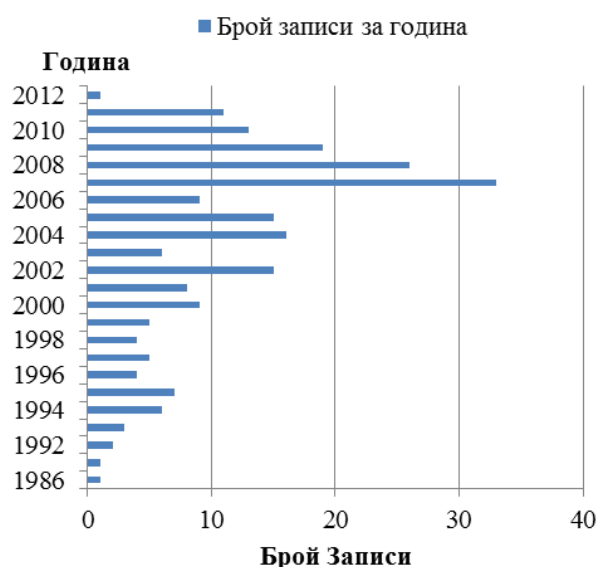
държава	брой публ.	държава	брой публ.
US	34	Argentina	1
China	30	Bangladesh	1
Taiwan	17	Canada	1
Brazil	7	Czech Republic	1
India	7	France	1
Japan	6	Germany	1
Singapore	5	Italy	1
Egypt	4	Mexico	1
Iran	4	Netherlands	1
UK	4	Norway	1
Greece	3	Oman	1
UK	3	South Africa	1
Georgia	2	Sweden	1
Spain	2	Thailand	1
Switzerland	2	Turkey	1

Таблица 5: Брой публикации за тип документ

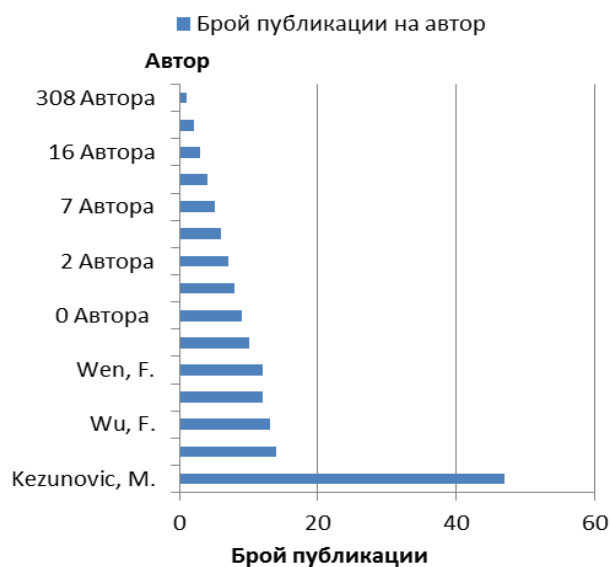
тип документ	брой публикации
технически доклади	4
статии в списания	125
статии на конференции	66
докторски дисертации	10
публикации в поредици	13
книги	1

Таблица 6: Брой посочвания на ключова дума в публикация

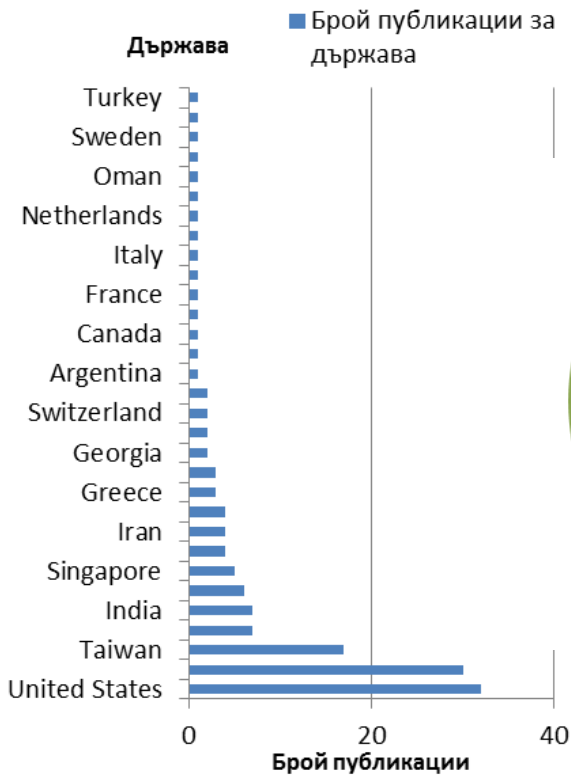
ключова дума	брой посочване на ключова дума в публикация	ключова дума	брой посочване на ключова дума в публикация
<i>fault section estimation</i>	47	<i>algorithms</i>	18
<i>electric power systems</i>	46	<i>relay protection</i>	17
<i>electric circuit breakers</i>	34	<i>electric relays</i>	16
<i>electric fault currents</i>	31	<i>failure analysis</i>	16
<i>electric fault location</i>	31	<i>fault location</i>	15
<i>fault diagnosis</i>	31	<i>expert systems</i>	15
<i>neural networks</i>	28	<i>power transmission</i>	13
<i>estimation</i>	24	<i>parameter estimation</i>	13
<i>genetic algorithms</i>	20	<i>fuzzy sets</i>	12
<i>electric power transmission networks</i>	20	<i>electric substations</i>	12
<i>electric power distribution</i>	20	<i>automation</i>	10
<i>computer simulation</i>	19	<i>fault detection</i>	10
<i>mathematical models</i>	19	<i>electric power system protection</i>	10
<i>power systems</i>	18	<i>други ключови думи</i>	1091



Фиг.2. Публикации по години.



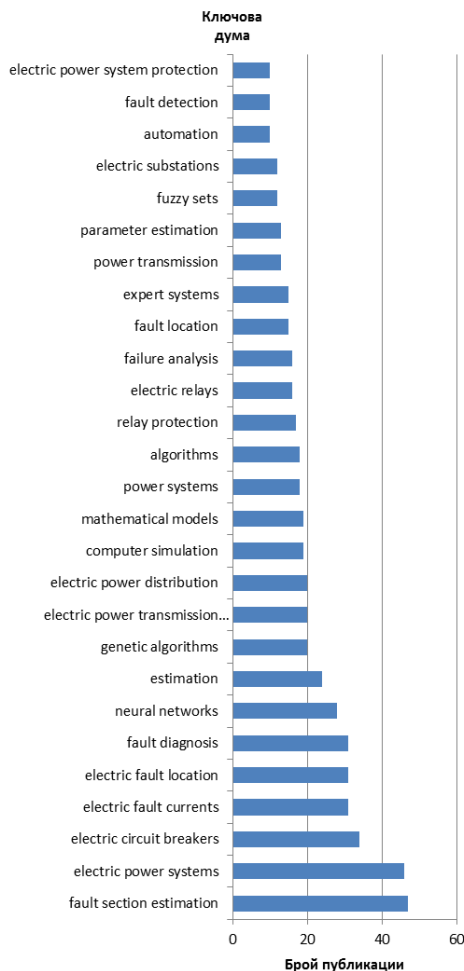
Фиг.3. Най-продуктивни автори по тематиката.



Фиг.4. Разпределение на публикациите по държави



Фиг.5. Дялово разпределение по тип на документи



Фиг.6. Брой посочвания на ключова дума в публикация.

След първоначален анализ на резултатите се установиха повторения при индексирването на автори и ключови думи, например „fault“ и „fault section estimation“, като този недостатък на програмата в следствие бе отстранен. Времето, необходимо за разработване и тестване на софтуерния продукт бе около 30 календарни дни.

Резултатът от използване на разработената програма е автоматично генерирана библиографска справка в обем около 80 печатни страници. В настоящата публикация е представена получената, от изследването, статистическа информация. На фиг.2 и в табл.2 са представени публикуваните по тематиката записи, по години. При анализа на резултатите е необходимо да се отбележи, че в библиографската база от данни са включени всички записи, до март 2012 година.

На фиг.3 и в табл.3 са показани авторите, имащи публикации по тематиката. С най-голям брой авторство и съавторство в статии е Младен Кезунович - 47 публикации.

По данните на фиг.4 и табл.4 може да се предположи, че страните, инвестиращи най-много средства в разработване на сложни експертни системи, прилагани в електроенергийни обекти, са САЩ, Китай и Тайван.

Дяловото разпределение на публикациите е видно на фиг.5 и табл.5. Най-голям е броят на статиите - общо 191. Големият брой публикации и защитените 10 докторски дисертации са показател за значителна работа по разработване на такъв тип експертни системи в световен мащаб.

При анализа на данните от фиг.6 и табл.6 може да се твърди, че основните алгоритми, използвани за анализ на нормални и аварийни режими, по данни от автоматични регистратори са:

- Невронни мрежи – 28 публикации;
- Генетични алгоритми – 20 публикации;
- Размити множества – 12 публикации.

Събирането на библиографска база от данни се оказва продължителна трудоемка задача, изискваща търпение, упоритост и постоянство.

Разработването на програмния продукт изискваше относително начални умения по програмиране.

Полученият резултат е приемлив, но частта „графично представяне на резултатите“ е разработена с допълнителен готов програмен продукт.

Такъв тип изследвания дават ясна и систематизирана статистическа информация, която би могла да се използва при аргументирано взимане на решения в последващи разработки.

Възможно развитие на софтуера би могъл да бъде в посока автоматизирано откриване на първоначалните източници на информация и графично представяне на резултатите.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Е. Николов и Н. Г. Николова, Методология за разработване на научни статии, София: Технически Университет - София, 2013, р. 34.
- [2] J. . T. Alander, „An Indexed Bibliography of Genetic Algorithms in Power Engineering,“ University of Vaasa, Vaasa, 2014.
- [3] С. Наков, В. Колев и колектив, Въведение в програмирането със С#, Велико Търново: Фабер, 2011.

Автор: Десислав Тодоров, главен асистент, катедра „Електроенергетика“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail address: desislav_todorov@tu-sofia.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Александър Овчаров

ПРИСЪЕДИНЯВАНЕ НА НОВИ ГЕНЕРАТОРИ КЪМ ПОДСТАНЦИЯ „ПРИЗРЕНИ 2“ И ОЦЕНКА НА ВЛИЯНИЕТО ИМ ВЪРХУ НИВАТА НА ТОКОВЕ НА КЪСО СЪЕДИНЕНИЕ

Реджеп Шакири, Димитър Богданов

Резюме: Обект на изследване в тази статия е проектът за присъединяване на нови генериращи мощности към подстанцията „Призрени 2“, намираща се в Косово. Представени са резултати от симулационни модели на електроенергийната система за да се оцени влиянието на новите генериращи мощности върху нивата на токовете на късо съединение. Съставени са модели на NEPLAN, като са използвани данни за съответните елементи на системата. Резултатите са важни за работата на подстанцията „Призрени 2“, тъй като тя е важна възлова точка. Резултатите са използвани за преценка до каква степен присъединяването на нови генериращи мощности ще окаже влияние не монтираното в системата оборудване.

Ключови думи: присъединяване, синхронен генератор, водно електрическа централа, ток на късо съединение, модернизация, експлоатация

CONNECTION OF NEW GENERATORS TO THE “PRIZRENI 2” SUBSTATION AND THEIR IMPACT ON THE LEVELS OF SHORT CIRCUIT CURRENTS

Rexhep Shaqiri, Dimitar Bogdanov

Abstract: Object of study in this article is the project for connection of generators to the substation in “Prizreni 2”, located in Kosovo. This article describes the simulations of the power system of Kosovo in order to analyze the connection of new generators in “Prizreni 2” substation. “Prizreni 2” substation is an important node point with specifics of the power flow distribution. The analysis of the Kosovo electric power system by means of NEPLAN software using as a reference the standards applied in Kosovo, aim to justify if the plans for improvement of Kosovo grid are appropriate and what kind of changes in short circuit current values can be expected.

Keywords: connection, synchronous generator, hydro power plant, short circuit current, improvement, power system, operation

1. INTRODUCTION

The electrical power system (power grid) of Kosovo mainly operates coal fired thermal power plants (TPPs) for production of electricity, thus has lack of energy of re-

newable resources. In result of this, there is increased interest of investment in the field of the alternative/renewable resource, such as hydro power plants (HPPs). The impact of the connection of new generators to the distribution system, respectively to the substation “Prizreni 2”, has been studied in details.

The connection of the new generators can affect the stability of the system, quality of the energy and the reliability of the system. Existing and new generators connected to the network have to fulfill the requirements: frequency stability, voltage deviation, voltage waveform, voltage symmetry, power factor, etc., defined in Kosovo electrical power system (www.kostt.com), on the basis of the respective applicable IEC standards [1].

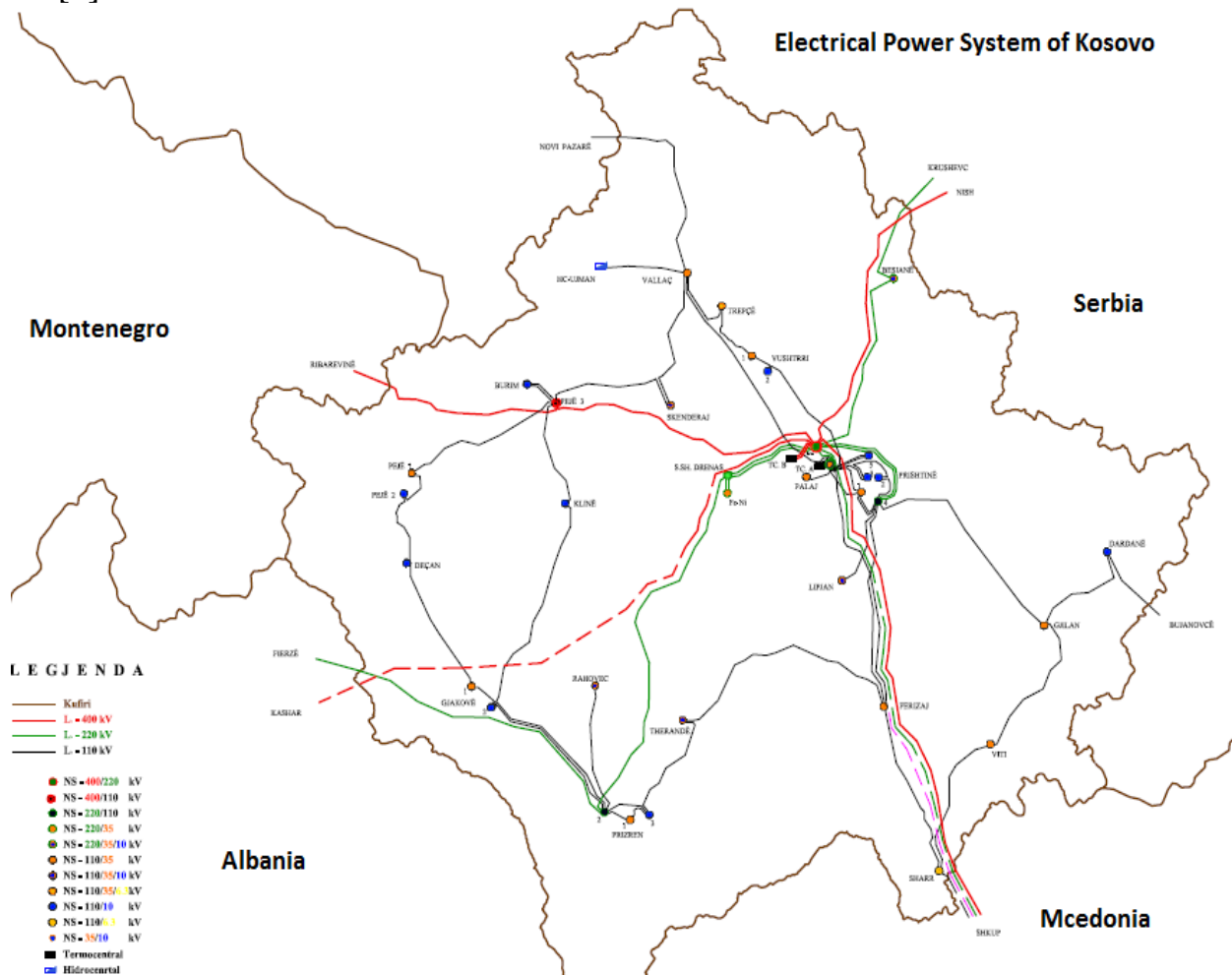


Fig.1. Map of the electrical power system of Kosovo

2. KOSOVO ELECTRIC POWER SYSTEM

The Kosovo Electrical Company (Transmission system and market operator) is responsible for the operational planning and supervision of the electrical power system, for the maintenance and development. The electrical power system of Kosovo includes approximately 188,49 km of 400 kV transmission lines, 231,88 km of 220kV transmission lines, 803 km of 110 kV transmission/distribution lines, 400/220 kV - 1 substation, 400/110 kV –2 substations, 220/110 kV – 3 substations, and 110/35 kV, 110/10 kV - 29 substations.

The electrical power system of Kosovo is connected to the electrical power systems of Macedonia, Serbia and Albania with overhead transmission power lines on 400 kV, 220 kV and 110 kV.

In the electric power system of Kosovo the generation units are: TPP “Kosovo A” (A3-150 MW, A4-150 MW and A5-150 MW) in total 450 MW and “Kosovo B” (B1-300 MW and B2-300 MW) in total 600 MW. Units “A1” and “A2” are not in operation. The Hydro Power Plants (HPPs) in the electric power system are: “Ujman” (U1, U2) in total 32 MW, “Lumbardh” (L1 and L2) in total 8MW [2].

3. PROBLEMS RELATED TO EXISTING AND NECESSITY FOR NEW ENERGY SOURCES

Regarding the utilization of alternative renewable energy sources, Kosovo is not at the appropriate levels, compared to EU directives. Approximately only 3% of the electrical energy produced in Kosovo is from renewable energy sources. As Kosovo is obliged to adhere to agreement for electricity and according to Directive 2009/28/EC1 on the promotion of the use of energy from renewable sources (the "Renewable Energy Directive") established mandatory targets to be achieved by 2020 for a 20% overall share of renewable energy in the EU and a 10% share for renewable energy in the transport sector [2].

In tabl.1 is presented the new capacity which will be built and foreseen to be connected to the Kosovo grid.

Table 1

The new generation capacity which will be installed in future in Kosovo grid				
until		Power	Must be in operation	In operation
New generators	TPP “New Kosovo” G1	P=300 MW	Q1 2019	>2050
	G2	P=300 MW	Q1 2020	>2050
	New TPP G3	P=400 MW	Q1 2023	>2050
	HPP “Zhurri”	P=300 MW	Q1 2019	>2060
Renewable source	Small C >20 HPP	P ₂₀₂₀ =150MW	Q1 2014-Q4 2020	>2050
	Wind turbine >4 Wind power plants	P ₂₀₂₀ =14 MW	Q1 2014-Q4 2020	2020-2040
	Biomass	P ₂₀₂₀ =10 MW	Q1 2014-Q4 2020	
	Solar	P ₂₀₂₀ =10 MW	Q1 2014-Q4 2020	

Note: Q1, Q2, Q3 and Q4 (quarters of the year) and 20, 4 are number of plants

4. SHORT CIRCUIT CURRENT LEVELS AT HIGH VOLTAGE BUSES

On fig.2 is presented the configuration of generators connection to “Prizreni 2” substation. In “Prizreni 2” substation the circuit breakers are designed for short circuit current up to 40 kA, with maximal duration of 1 s.

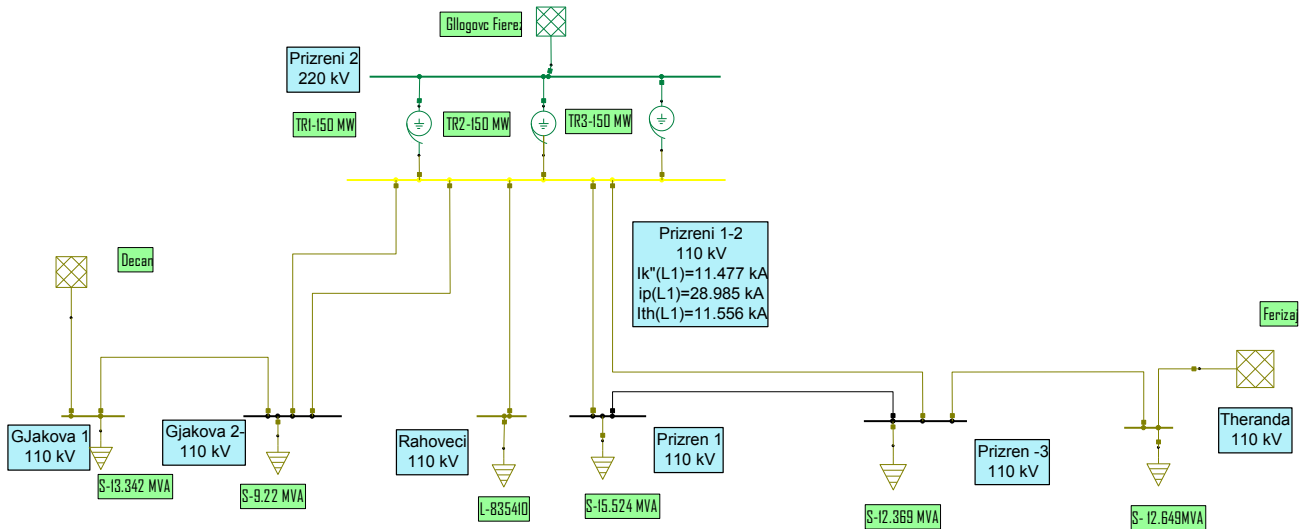


Fig.2. Three phase short circuit current in “Prizreni 2” substation

This substation is supplied from two electrical power lines: one from Albania and one from inside Kosovo. Model for calculation of three phase short circuit current in “Prizreni 2” substation without new generators is presented on fig.2.

Three phase short circuit currents in “Prizreni 2”, “Prizreni 1”, ”Prizreni 3”, ”Rahoveci” and “Gjakova 2” substation without generators are presented on fig.3.

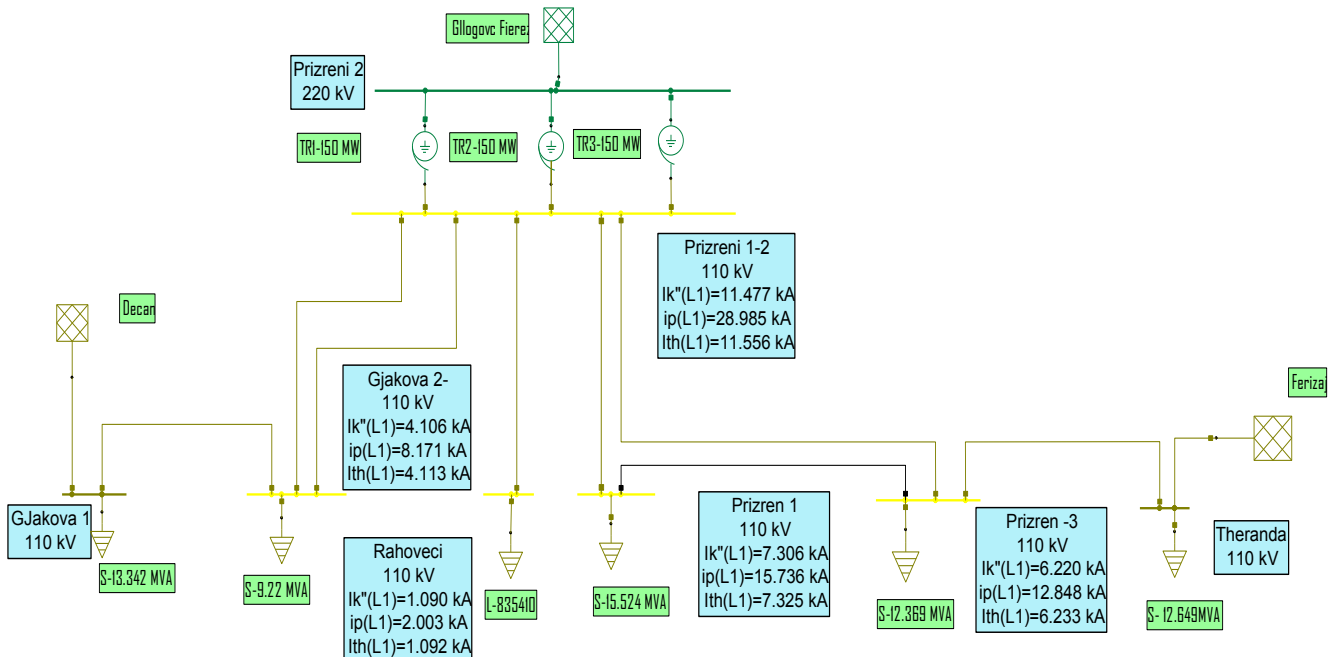


Fig.3. Three phase short circuit in “Prizreni 2”, “Prizreni 1”, ”Prizreni 3”, ”Rahoveci” and “Gjakova 2” substations without generators

The connection of new generators affects the voltage profile, short circuit current, the power flow distribution, the losses in power system and the stability of the system. Kosovo Power System is strongly connected at 400kV and 220kV to the regional network, with three 400kV lines and with two 220kV lines. Main fault current levels with serious impact on the operational security of the electrical power system are concentrated on two main substations: “Kosovo B” 400/220kV and “Kosovo A” 220/110kV, due the fact that to these two substations are connected all main power plants of Kosovo (Thermo plants “Kosovo B” and “Kosovo A”). Some of the terms for short circuit current in accordance to the standard IEC 60909, used as a basis for the study [1][3]:

- Initial symmetrical short-circuit current I_k* : the r.m.s value of the symmetrical AC component of a prospective short-circuit current at the instant the short circuit occurs if the short –circuit impedance retains its value at time zero;
- Peak short–circuit current i_p* : the maximum possible instantaneous value of a prospective short–circuit current;
- Steady-state short-circuit current I_k* : r.m.s. value of the short-circuit current which remains after the decay of the transient phenomena;
- DC (aperiodic) component I_{dc} of short-circuit current*: the mean value between the upper and lower envelope curve of a short–circuit current decaying from an initial value to zero;
- A- initial value of the DC component I_{dc}* .

The electrical power system of Kosovo does not have reserve capacity for operational quality with the rules ENTSO-E (UCTE).

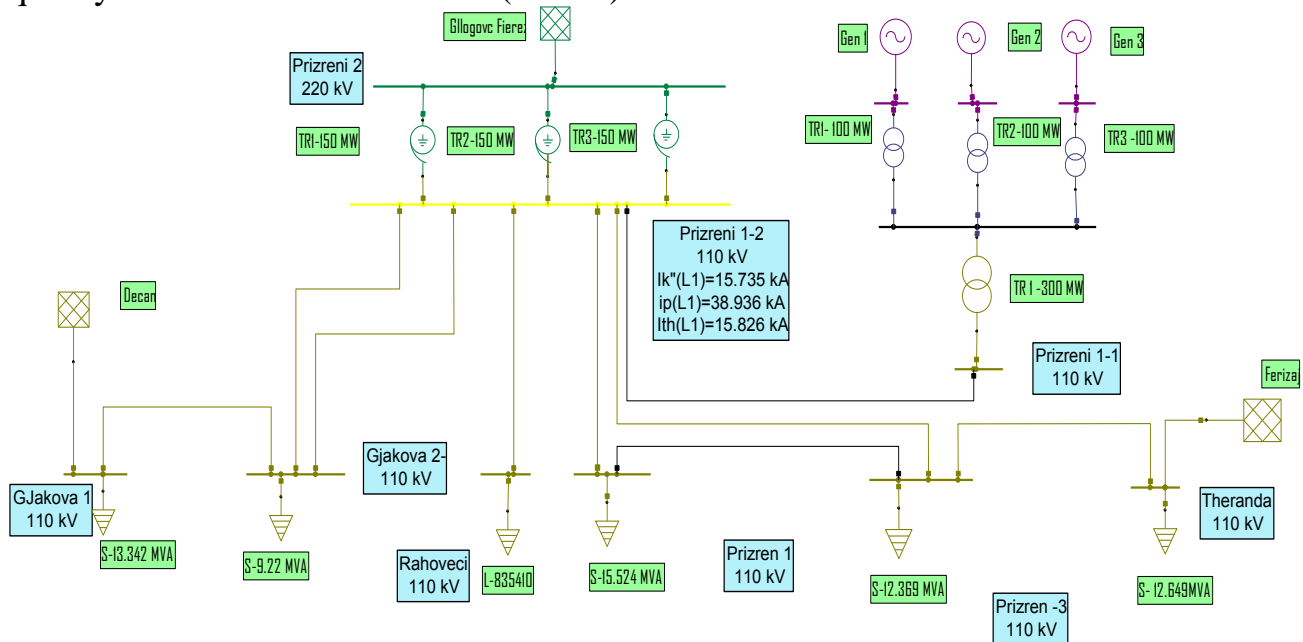


Fig.4. Three phase short circuit current in “Prizreni 2” substation with the new generators to be installed in the new HPP “Zhurri”

The electrical power system of Kosovo needs a power generation source with variable output of about 200-400MW, as Kosovo imports electrical energy around 300-500 GWh per year (in 2012 472 GWh; in 2013 is 521GWh). Installation of new electrical

power generation capacity is important to improve the “portfolio mix” of Kosovo and to achieve better market positions [2][6][8].

In the study accomplished the consequences of connection to “Prizreni 2” electrical power generation with capacity of 300MW were studied. In accordance to the future planning for investment in Kosovo power generation infrastructure, this is the new HPP “Zhurri”. The option for this HPP is under economic analyses in the moment. Besides the investment for the HPP itself, the additional costs for grid equipment shall also be taken in account. If the increased capacity results in increased short-circuit currents that are over the design values of existing equipment, this will lead to additional expenses for substation reconstruction, etc. [4][5].

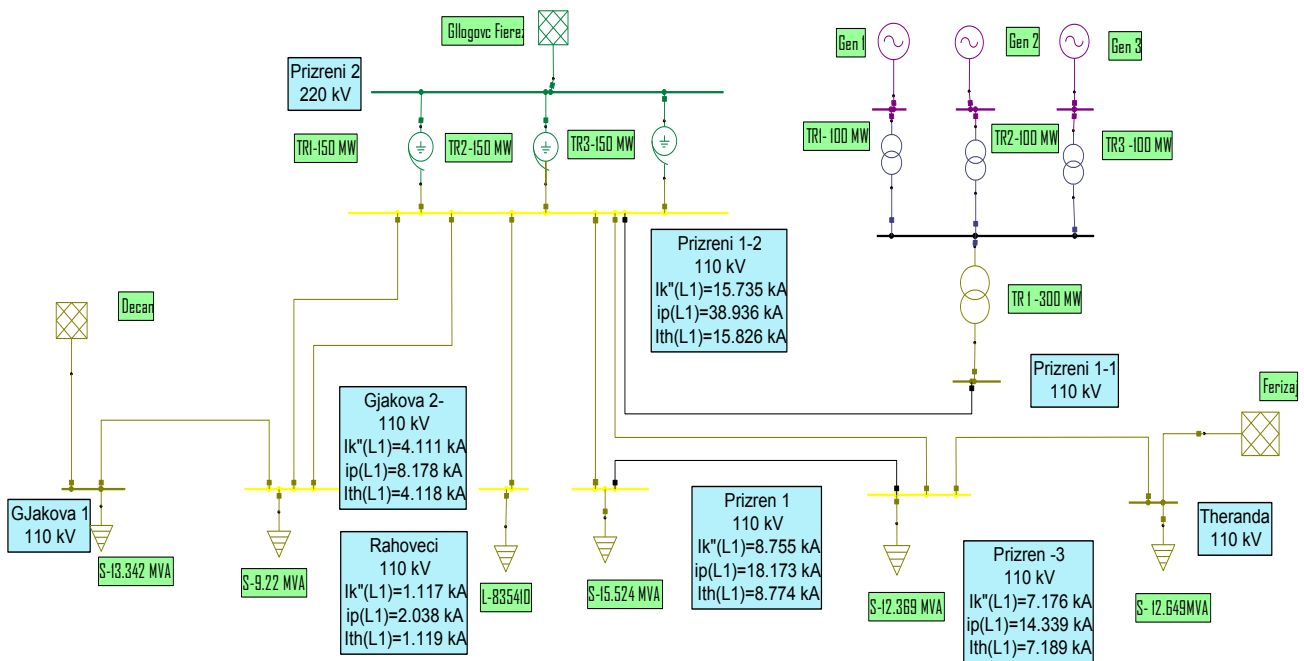


Fig.5. Three phase short circuit currents at “Gjakova 2”, “Rahoveci”, “Prizreni 1”, “Prizreni 2” and “Prizreni 3” substations with the generators in HPP “Zhurri”

The short-circuit currents in the network shall be calculated for sizing the electrical circuits and the respective required equipment, as well as determining the means required for the protection of personnel and equipment (property).

The presented on fig.4 scheme was used to calculate the three phase short circuit currents in “Prizreni 2” substation with the new generators to be installed for the new HPP “Zhurri”.

The presented on fig.4 configuration of the connection of the generators of HPP “Zhurri” to the power system of Kosovo (to “Prizreni 2” substation) is preliminary assumption. It is for 3x100 MW generators. The exact structure of the plant grid connection is to be defined on next stage. For preliminary analysis the presented single step-up transformer structure was used.

From the results, conclusion can be made, that the circuit breaker which are installed in “Prizreni 1”, “Prizreni 3”, “Gjakova 2” and “Prizreni 2” - 110 kV substations fulfill

the requirement to withstand and commutate three phase short circuit current in these substation, as for all substation the three phase short circuit current values are:

- “Prizreni 2” - 110 kV ($I_k''=15.735$ kA, $i_p=38.936$ kA)
- “Prizreni 1” - 110 kV ($I_k''= 8.755$ kA, $i_p= 18.173$ kA)
- “Gjakova 2” - 110 kV ($I_k''=4.111$ kA, $i_p= 8.178$ kA)
- “Prizreni 3” - 110 kV ($I_k''=7.176$ kA, $i_p=14.339$ kA)

Comparison of the currents when HPP “Zhurri” will be connected to the grid with three generators and without it is presented on fig.6 and fig.7.

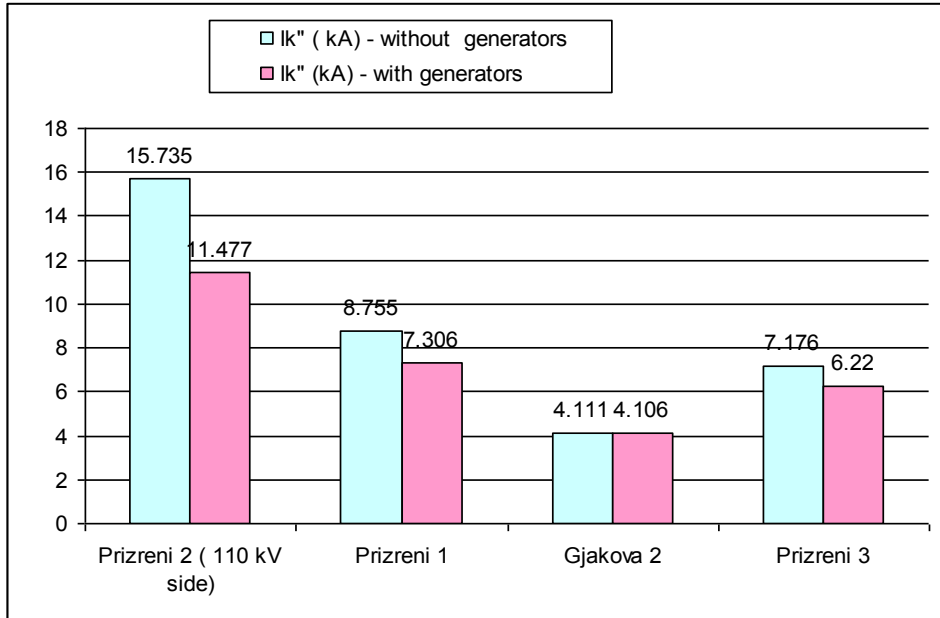


Fig.6. Comparison of currents I_k'' with and without HPP “Zhurri”

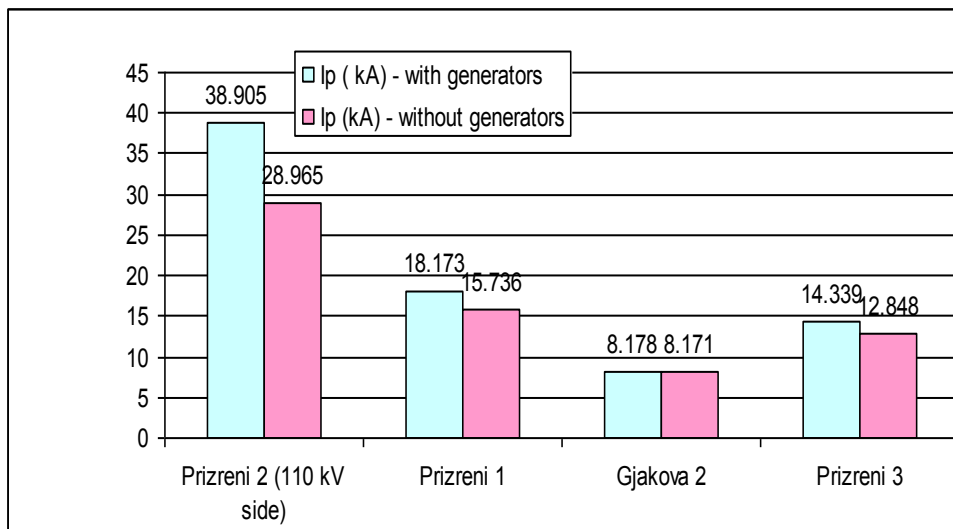


Fig.7. Comparison of currents I_p with and without HPP “Zhurri”

The impact of hydro generators to the electrical system of Kosovo, as well as the impact of future investments in Kosovo system indicates increased levels of short circuit. The values obtained by the calculation models indicate that when new hydro generators are connected to “Prizreni 2” substation, the three phase short circuit cur-

rent will be increased from 11,477 kA to 15,735 kA at substation 220 kV buses. In such case there is no need to change the circuit breaker in “Prizreni 2” substation.

5. CONCLUSIONS

The HPP “Zhurri” can assure Kosovo electrical power system variable power up to 300 MW with average annual production of 398 GWh. HPP “Zhurri” may play a role for secondary and for tertiary reserve in Kosovo power system. Based on the current energy balance in Kosovo, the installation of new hydro generators will have a significant role in the improvement of security of the customer’s electrical power supply, as well as to meet the criteria for reduction of environmental harmful and greenhouse emissions. This directly harmonizes with the efforts of EU for reduction of emissions in the atmosphere and mitigation of climate changes.

This construction of HPP “Zhurri” is important for Kosovo, due to the fact that Kosovo does not have any other significant hydro potential on which to build a hydro-power plant with similar capacity. The utilization of the available hydro resource for HPP “Zhurri” will support the transborder reliability of the grid and will reduce the Kosovo’s dependence of import of electricity.

At this stage of study, the obtained results indicate that the installed breakers have sufficient commutation capability after the installation of new generation capacity of 300 MW. Object of further study is to evaluate in details the performance of other primary circuits components like busbars, measurement equipment etc.

LITERATURE

- [1] IEC 60909 Short circuit current.
- [2] Data from Transmission, System and Market Operator. Kosovo.
- [3] Ismail Kasikci, Short Circuits in Power system: A Practical Guide to IEC 60909 2002.
- [4] H.E.Shaalan, Generation of electric power. Georgia Southern University.
- [5] Alan L. Sheldrake, Handbook of Electrical Engineering, John Wiley&Sons Ltd, 2003.
- [6] Rexhep Shaqiri, Dimitar Bogdanov “Connection of new generators in to the electrical power system of Kosovo“, ISSD Sarajevo 2014.
- [7] Manual for Software Neplan 543
- [8] M.Kaneva, D.Stoilov, D.Bogdanov, D.Todorov, D.Dachev, R.Stanev, Manual on electrical power systems management. Published by TU-Sofia, 2011

Authors: Rexhep Shaqiri, PhD student, Department of “Electric Power”, Faculty Electrical Engineering, Technical University of Sofia, E-mail address: rexhep_shaqiri@hotmail.com ; Dimitar Bogdanov Assoc. Prof. PhD, Department of “Electric Power”, Faculty Electrical Engineering, Technical University of Sofia, E-mail address: dbogdanov@tu-sofia.bg

Received: 15 December 2015

Reviewer: Assoc. Prof. PhD K. Malchev

АНАЛИЗ НА ПРЕХОДНИ ПРОЦЕСИ ПО ВРЕМЕ НА РАБОТА НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ

Петър Накров, Везир Реджепи

Резюме: *Електроенергийните системи трябва надеждно и сигурно да доставят електрическата енергия от генериращите мощности до потребителите. Преносната система често е обект на смущения, генерирани от различни видове откази, като например промяна на схемата. Въз основа на правилата, изискванията и задълженията на операторите на електроенергийната система е необходимо хармонизирането на съответните енергийни системи в рамките на синхронната зона. Известно е, че при смущения в електроенергийната система има промяна на режимните параметри. Необходимо е детайлно проучване на преходните процеси за правилна оценка на стабилността на системата. Статията представя някои случаи на изключване на елементи като електропроводи, генератори и трансформатори в електроенергийната система на Косово.*

Ключови думи: *Електроенергийна система, Преходни процеси.*

AN ANALYSIS OF TRANSIENT PROCESSES DURING OPERATION IN THE ELECTRIC POWER SYSTEMS

Petar Nakov, Vezir Rexhepi

Abstract: *Power systems should reliably and securely deliver electricity from generating plants to consumers. Transmission system is often subject of disturbances generated by different kind faults, such as switching operation. Based on rules, requirements and obligations of the power system operators comes into consideration the role and harmonization of respective power systems within synchronous zone. It is known that during fault that occur in the power system, or even different disturbances has impact in the shape of voltage and currents magnitude as well as other parameters. Therefore a detailed study of transients to properly assess the stability of the system is need. The article presents some cases of shutdown of elements such as power lines, generators and transformers in power system of Kosovo.*

Keywords: *Power System, Transients.*

1. INTRODUCTION

As known, the power system during stationary work synchronously operates with a frequency of 50 Hz or 60 Hz, so that the voltage and currents calculations used functions can be complex, and the appearance of transient processes can change by the relevant frequency band calculations can therefore be described through differential equations [1].

Transient phenomena in the power system are associated with the operation of synchronous machines in parallel. So, transient stability may be defined as the ability of a power system to maintain generators in synchronous operation when faced to large disturbances. It is understood that the power system during transient processes which can occur in a period of a few milliseconds changes in its working condition parameters [1].

2. TRANSIENTS PROCESSES IN THE POWER SYSTEMS

Studying transient processes is very important during switching loads, transformers, lines or generators. The configuration of the network during switching elements determines amplitude, frequency, and shape of the current or voltage oscillations.

Thus amplitude of the current or voltage is depending on condition of parameters operation, such as unloaded or overloaded and large loaded elements. This is associated from bandwidth of the transient processes [2].

An important role in ensuring the transient stability is given by the fast, selective and safe operation of the protection relay, which must be avoid undesired disconnection of network elements, which may impact in the stability conditions of the power system [3].

3. SIMULATION METHOD

The simulation method based on calculating electrical transient phenomena by the algebraic equations of the network and system equations of the dynamics elements at any one point in time [3].

System equations are used for all pieces of equipment which are simulated by algebraic and differential equations. The system equations in the state form are presented by:

$$\frac{dx}{dt} = A \circ x + B \circ u \quad (1)$$

$$y = C \circ x + D \circ u \quad (2)$$

The integration formula contains one part, which depends only on the variables at the beginning of the interval. The input variables \mathbf{u} at the end are estimated at the beginning of the iteration [4].

4. ANALYZE OF TRANSIENTS SIMULATION IN THE BUS OF POWER SYSTEM

The paper analyzes some cases of transients during disconnection of the relevant elements in a main substation power system of Kosovo, respectively at Kosovo B 400/220 kV.

The first case shows the disconnection of one generator in Kosovo B G1, then disconnection the two generators on the network, autotransformers AT1, AT2, AT3, as well as disconnection generators G1, G2 and overhead line 420/1.

In the following figure is presented scheme to SS Kosovo B power system of Kosovo, (fig.1).

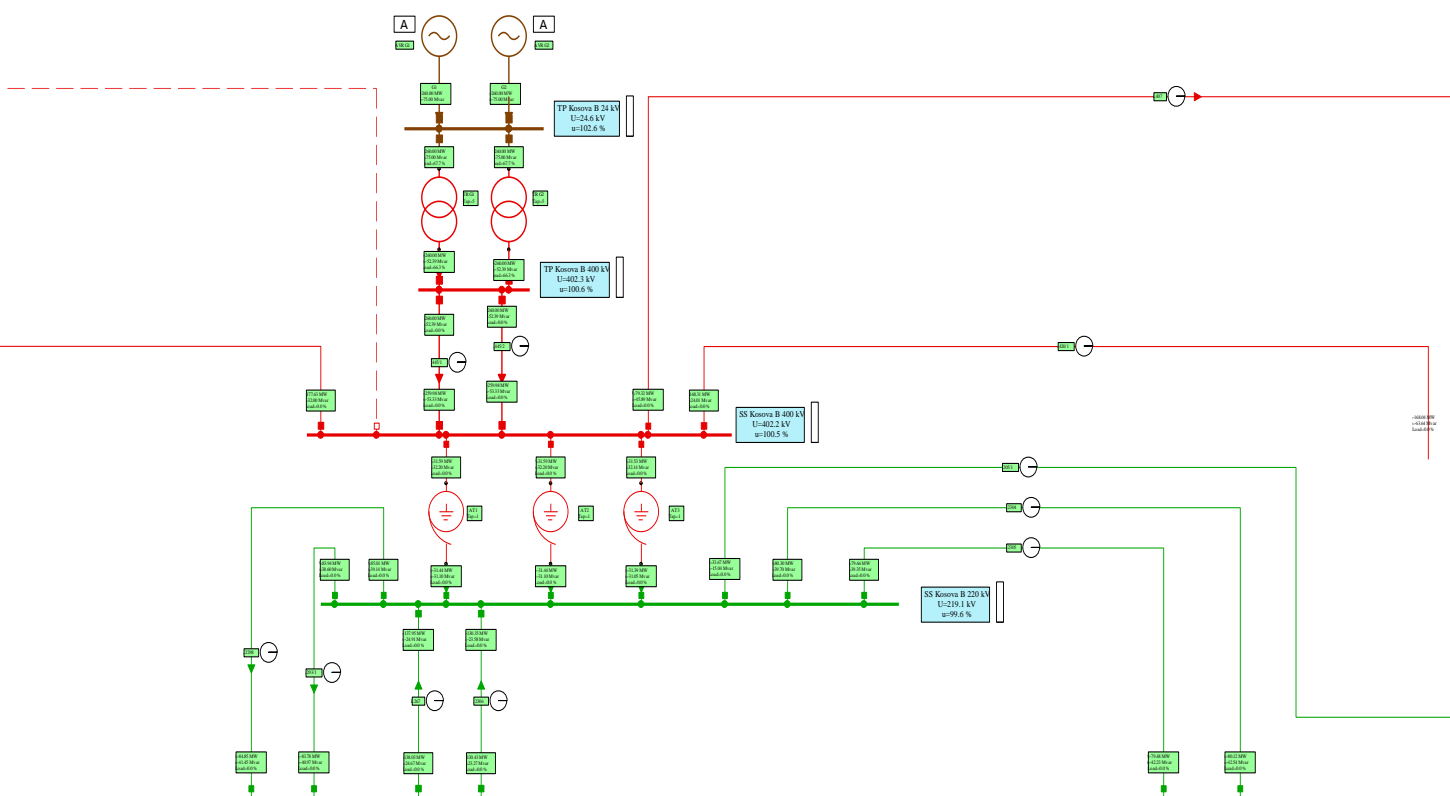


Fig.1. Single line diagram of SS Kosovo B.

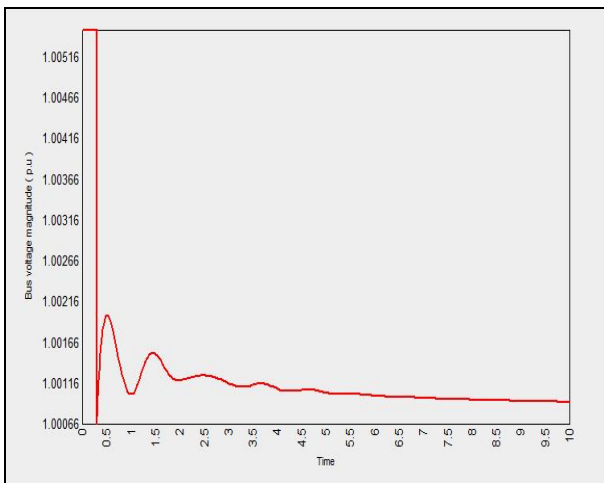
Analyze cases are simulated by NEPLAN software package.

All simulation cases are analyzed for a disconnection time of 0.3 s, with a trend extension of 10 s.

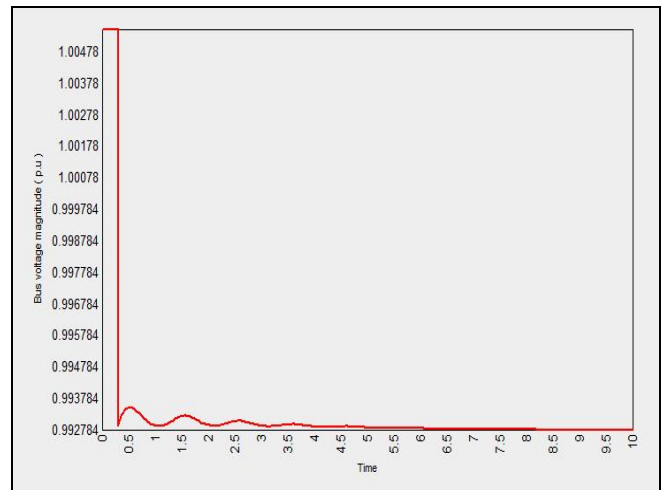
Simulation are done with a consumption of 1153.698 MW.

In the first case is presented the switching off the generator G1 with a power about 260 MW.

Transient voltage is shown in fig.2.a as follows.



a)



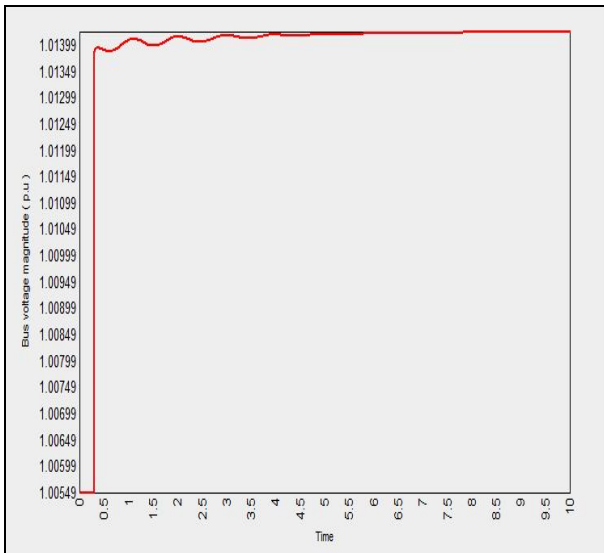
b)

Fig.2. a) Voltages magnitudes (p.u.) at the SS Kosovo B, when G1 is switched off, and b) G1 and G2 are switched off

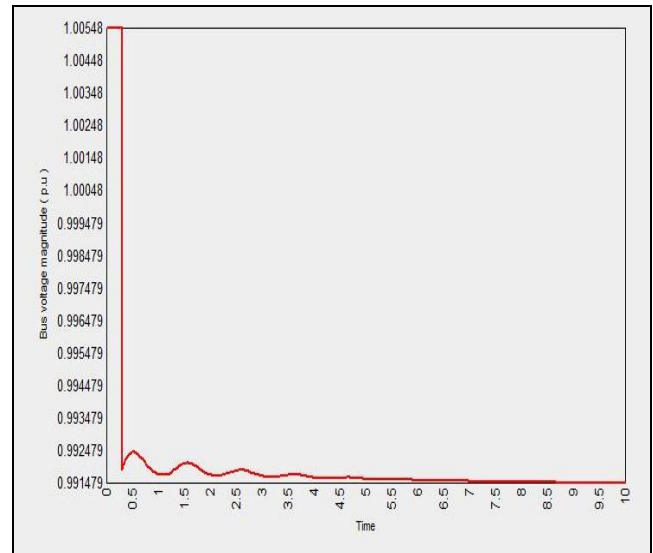
In figure 2b is shown transient voltage during switching off generators G1 and G2 with a power about 520 MW. In this case oscillations are evident and has impact in the decrease of the voltage amplitude.

As shown in fig.3.a is switching off autotransformers (AT1, AT2 and AT3) with loaded with 165 MW. In the figure seen transient voltages that shows voltage fluctuation in the case of disconnection of these auto transformers and their impact on the stability of the power system. In this case the amplitude of voltage is increased.

Also in fig.3.b is shown transient processes during the switching off autotransformers AT1, AT2, AT3 and line 420/1.



a)



b)

Fig.3. Voltages magnitudes (p.u.) at the SS Kosovo B, a) AT1, AT2, AT3 are switched off, and b) G1, G2, L 420/1 are switched off

In figure 4 is shown the behaviors of frequency during switching off the generators G1, G2. From this it can be seen effects on the stability of frequency. Oscillation frequency ranges during disconnection of generators is 49,9955 – 50,002589 [Hz].

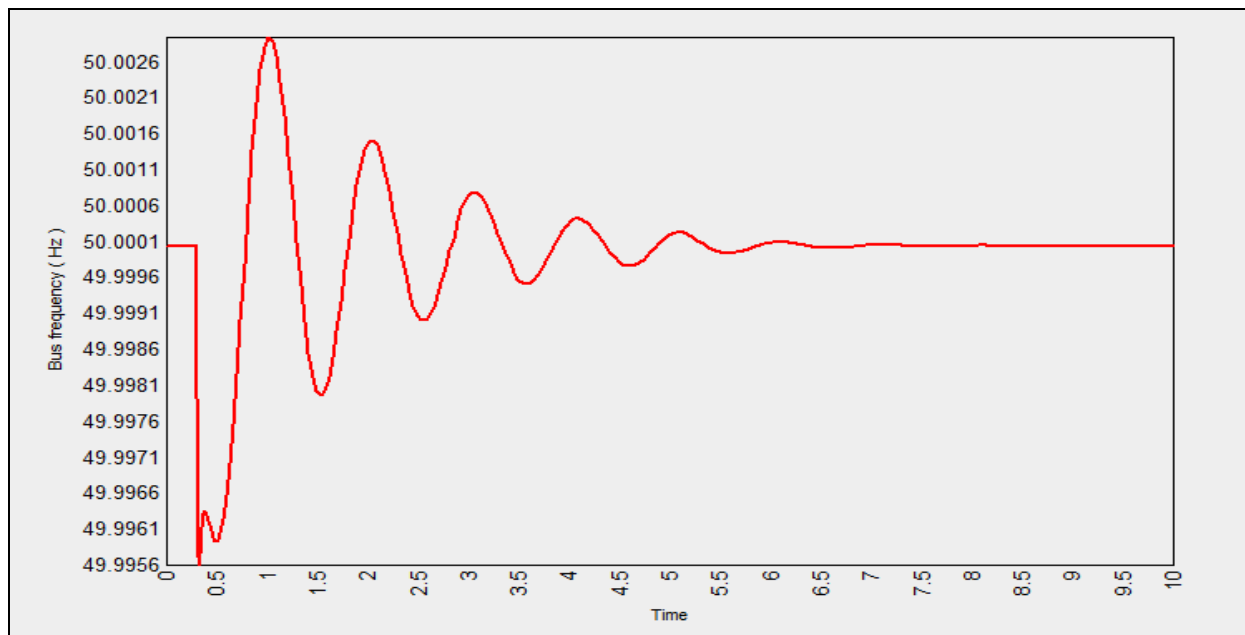


Fig.4. The frequency at the SS Kosovo B, when G1, G2, L420/1 are switched off.

Depending on the faults, such as switching operation, three phase short circuit, or other faults may vary in certain bands and amplitude of voltage, currents and frequency. In this cases are seen that changes are evident when disconnected respective elements which are reflected with different disturbances.

5. CONCLUSION

In the paper are presented simulations of different cases of transient processes during switching of elements at electrical power system. The investigated transients in electrical power system of Kosovo do not cause frequency and voltage instability.

It should be taken consideration the types of faults, the size of generation, consumption and system configuration. Transient stability will be on function of these parameters, amplitude and frequency behavior. Also transient stability margin depend on protection system.

Based on these factors, the importance of maintenance of stability during transient in the power system is significant about reliability and safety.

By analyzing the simulation cases, is concluded that knowledge about transients plays a significant role in the recognition of disturbances during switching operation conditions and configuration of the power system as well as protection system.

This approach helps knowledge about stability of power system as well as measures to improvements performance of power system elements, so this increase security and advance calculation that are in function of reliability and safety during the operation of the elements in the power system.

LITERATURE

- [1] Lou van der Sluis, Transients in Power Systems, John Wiley & Sons, Ltd, Netherland, 2000.
- [2] Goran Anderson, Modelling and Analysis of Electric Power Systems, Lecture 227-0526-00, ITET ETH Zurich.
- [3] Mircea Eremia, Mohammad Shahidehpour, Electrical Power System Dynamics, Modelling, Stability, and Control, The Institute of electrical and Electronics Engineers, Inc (IEEE), 2013.
- [4] Neplan User Guide, Transient stability, Zurich, 2007

Authors: Petar Nakov, Assoc. Prof. PhD, Department of “Electric Power”, Faculty Electrical Engineering, Technical University of Sofia, E-mail address: pnakov@tu-sofia.bg ; Vezir Rexhepi, PhD student, Faculty Electrical Engineering, Technical University of Sofia, E-mail address: vezir.rexhepi@gmail.com

Received: 15 December 2015

Reviewer: Assoc. Prof. PhD Rad Stanev

АДАПТИВНИ СИСТЕМИ ЗА МОДЕРНИЗАЦИЯ НА ОСВЕТЛЕНИЕТО В МЕТРОВЛАКОВЕТЕ НА СОФИЙСКИЯ МЕТРОПОЛИТЕН

Георги Димитров, Марин Вълков

Резюме: В работата са представени резултати от проведено изследване върху състоянието на осветителните уредби в метровлаковете на Софийския метрополитен и са предложени технически решения за тяхната модернизация. За целите на аналитичното изследване са разработени изчислителни светлотехнически модели на различните типове вагони, експлоатирани в Софийското метро. Резултатите от светлотехническите изчисления с използване на различни светлинни източници, адаптирани към съществуващите осветителни тела, са представени в графичен и табличен вид. Направен е и кратък анализ на икономическия ефект от предложената модернизация.

Ключови думи: осветителни уредби на метровагоните, модернизация с LED светлинни източници, енергийни и икономически ефекти

ADAPTIVE SYSTEMS FOR MODERNIZATION OF LIGHTENING EQUIPMENT IN THE METRO-TRAINS OF THE SOFIA SUBWAY

Georgi Dimitrov, Marin Valkov

Abstract: The work presents the results of a research on the state of the lighting systems in the metro-trains of the Sofia subway and proposed technical solutions for their modernization. For the purposes of analytical research developed computing photometric models of different types of wagons operating in Sofia subway. The results of photometric calculations using different light sources, adapted to existing lighting fixtures, are presented in graphical and tabular form.

Keywords: lightening equipment of subway wagons, modernization with LED light sources, energy and economic effects

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Софийският метрополитен е основна транспортна артерия в столичния град и с него ежедневно в делничен ден пътуват около 320 хил. пътници.

В метрото на гр. София са в експлоатация два типа метровлакове, производство на «Метровагонмаш» - Русия, всеки един от тях съставен от два типа вагони. От 1998 г. са експлоатация 12 четиривагонни влака, съставени от вагони тип 81-717.4 и 81-714.4. През периода 2006-2009 г. поетапно са доставени още 9 метровлака, модификация „Русич” с вагони тип 81-740.2 и 81-741.2, а през периода 2010-2013 г. – още 31 влака с вагони тип 81-740.2Б и 81-741.2Б.

Качественото осветление във вагоните на метрополитена е от съществено значение за осигуряване на необходимия зрителен комфорт на пътниците, тъй като значителна част от тях по време на пътуване се занимават с четене и изпълнение на други зрителни задачи.

В настоящата разработка са представени резултати от проведено през 2014 г. изследване върху състоянието на осветителните уредби /ОУ/ във вагоните на Софийския метрополитен и са предложени технически решения за тяхната модернизация. Изготвена е и кратка икономическа обосновка за очаквания ефект от предложените технически решения и целесъобразността за модернизация на осветителните уредби със съвременни LED светлинни източници.

2. НОРМАТИВНИ ИЗИСКВАНИЯ КЪМ КОЛИЧЕСТВЕНИТЕ И КАЧЕСТВЕНИ ПОКАЗАТЕЛИ НА ОСВЕТЛЕНИЕТО ВЪВ ВАГОНИТЕ НА МЕТРОТО СЪГЛАСНО БДС EN 13272:2012

Осигуряването на зрителен комфорт на пътуване в обществения транспорт е регламентирано със стандарт БДС EN 13272:2012 [1]. Съгласно него се предявяват минимални изисквания към основните количествени и качествени показатели на осветлението във вагоните на метрото.

- ***Изисквания за осветеност в обособени зони на вагоните:***
 - Седалки /на 0,80 m от пода и 0,60 m от стените/ – $E_{ave} \geq 150 \text{ lx}$;
 - Места за правостоящи – $E_{ave} \geq 150 \text{ lx}$;
 - Пътеки /ниво на пода/ – $E_{ave} \geq 50 \text{ lx}$;
 - Пътеки /на 0,80 m от пода/ – $E_{ave} \geq 50 \text{ lx}$;
 - Проходи – $E_{ave} \geq 50 \text{ lx}$;
 - Около вратите за качване и слизане – $E_{ave} \geq 75 \text{ lx}$;

- ***Изисквания към цветната температура на светлинните източници.***
 - За осигуряване на зрителен комфорт на пътниците, цветната температура на светлинните източници трябва да бъде в границите от **2800 К** до **5000 К**;

- ***Изисквания към индекса на цвето предаване R_a .***
 - Светлинните източници и осветителите като цяло трябва да имат индекс на цвето предаване – $R_a \geq 80$;

- ***Специфични изисквания към качествените и количествените показатели във вагоните на метрото.***
 - Предвид, че транспортната дейност на метрото се извършва предимно в подземни тунели, за намаляване на психологическото натоварване на пътниците се препоръчва осветеността във вагоните да бъде не по-ниска от **300 lx** (според изследвания **400 lx**), а цветната температура на светлинните източници да е **4000 К**.

3. АНАЛИЗ НА СЪЩЕСТВУВАЩИТЕ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ ВЪВ ВАГОНИТЕ НА МЕТРОТО

Към настоящият момент в Софийското метро се експлоатират шест типа метровагони. При всички тях, осветителните уредби са изпълнени като „светещи линии”, изградени от осветителни тела с луминисцентни лампи тип Т8 (диаметър 26 mm) с мощност 36 W.

При най-старите метровагони тип 81-717.4 и 81-714.4 (доставени през 1990 г.) осветлението е реализирано с двулампови осветителни тела с бели матови разсейватели, като лампите в тях се управляват с конвенционална пусково-регулираща апаратура /ПРА/ [2].

При метро-влаковете модификация „Русич” с вагони тип 81-740.2 и 81-741.2 (респ. 81-740.2Б и 81-741.2Б), за осветление се използват еднолампови осветителни тела с прозрачен поликарбонатен призматичен разсейвател и електронна пусково-регулираща апаратура /ЕПРА/ [2].

На фиг.1 са показани схеми-разрези на различните типове вагони на метрополитена като е посочено разположението на осветителите в тях.

В табл.1 са посочени данни за геометричните размери на зоните за пътници и технически данни за осветителите, а в табл.2 – данни за годишното потребление на електрическа енергия от осветителните уредби, за всеки тип вагони поотделно.

Таблица 1

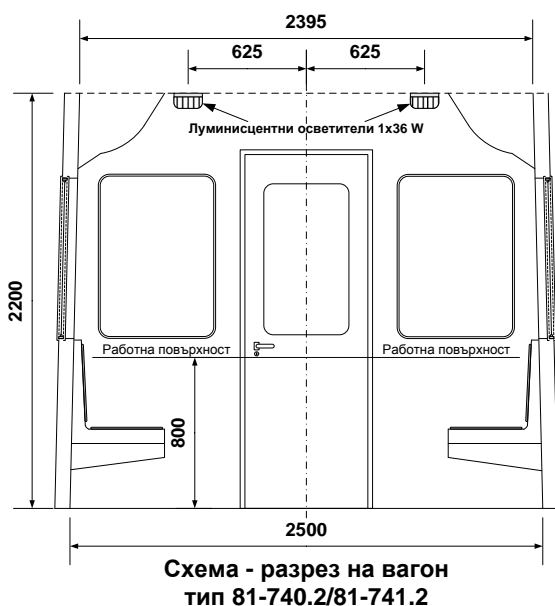
Данни за осветяваните повърхнини и осветителите във вагоните на метрото

Тип вагон	Размери на зоната за пътници			Технически данни за освети			Раб.мощност
	m	m	m	Брой	Тип	ПРА	W
81-717.4	16,95	2,50	2,38	12	2x36 W	ЕМ баласт	1080
81-714.4	18,50	2,50	2,38	13	2x36 W	ЕМ баласт	1170
81-740.2	24,56	2,50	2,20	2x15	1x36 W	ЕПРА	1110
81-741.2	26,45	2,50	2,20	2x16	1x36 W	ЕПРА	1184
81-740.2Б	24,56	2,50	2,15	2x15	1x36 W	ЕПРА	1110
81-741.2Б	26,45	2,50	2,15	2x16	1x36 W	ЕПРА	1184

Таблица 2

Данни за потреблението на електрическа енергия от ОУ във вагоните на метрото

Тип вагон	Брой и тип на осветителите		Единична мощност	Обща мощност	Работни часове за 1г.	Потребление за 1 година
	бр.	тип	W	W	h	kWh
81-717.4	12	2x36	90	1080	5000	5400
81-714.4	13	2x36	90	1170	5000	5850
81-740.2	30	1x36	37	1110	5000	5550
81-741.2	32	1x36	37	1184	5000	5920
81-740.2Б	30	1x36	37	1110	5000	5550
81-741.2Б	32	1x36	37	1184	5000	5920



Фиг.1. Схеми-разрези на вагоните на метрополитена.

Таблица 3

Данни за осветеността в обособените зони на вагоните на метрополитена

Тип вагон	81-717.4	81-714.4	81-740.2	81-741.2	81-740.2Б	81-741.2Б
ЗОНА	lx	lx	lx	lx	lx	lx
Седалки	157 (124) ⁽¹⁾	157 (128) ⁽¹⁾	409	409	421 ⁽²⁾	421 ⁽²⁾
Пътеки	203	203	436	437	453 ⁽²⁾	453 ⁽²⁾
Врати	137	136	387	385	400 ⁽²⁾	400 ⁽²⁾
Проходи	-	-	111	111	108 ⁽²⁾	105 ⁽²⁾

⁽¹⁾ В скобите са посочени стойностите на осветеността върху седалките, разположени от страна на междувагонните врати

⁽²⁾ Посочените стойности на осветеността са измерени при използване на оригинални лампи във вагоните марка Philips TL-D 80 36W/840

Доставката на луминисцентни лампи за вагоните на метрото се извършва въз основа на обявени обществени поръчки, при които най-често срещаният критерий за избор на доставчик е най-ниската цена, а качествените показатели остават на по-заден план. Всичко това често води до влошаване качествените показатели на осветителните уредби, което се наблюдава при част от влаковете.

За установяване текущите стойности на осветеността във вагоните на метрото са проведени измервания в реални експлоатационни условия. За целта е използван цифров луксметър тип LM-1010, като измерените стойности са коригирани с предписаните в [3] коефициенти. Резултатите от експериментални измервания на осветеността във вагоните на Софийското метро са показани в таблица 3. На фигури 2 и 5-а са показани компютърно симулираните стойности на осветеността във вагони от тип 81-717.4, 81-714.4 и 81-741.2.



Фиг.2. Изчислителни стойности за осветеността с използване на компютърна симулация.

Анализът на резултатите показват, че във вагоните на метрото са изпълнени минималните изискванията за осветеност съгласно БДС EN 13272:2012. При метровагоните от тип 81-717.4 и 81-714.4 нивата на осветеност в зоните за седящи пътници е твърде близка до минимално изискуемата и може да падне под нормата при намаляване светлодобива на лампите. Като причини за последното твърдение могат да се посочат ниският общ експлоатационен фактор MF (Maintenance Factor) на осветителите – $MF < 0,40$ и недотам удачното им разположение във вагоните (по надлъжната ос).

Възможните технически решения за модернизация на осветителните уредби във вагоните на метрото са:

- **Пълна подмяна на осветителните тела** – Като цяло това е скъпо струващо решение, но с него могат да се постигнат най-добри резултати по отношение подобряване на осветлението.
- **Адаптиране в съществуващите луминисцентни осветители на LED светлинни източници** – Това е едно удачно, до три пъти по-евтино, техническо решение което широко се използва при съществуващи и сравнително запазени осветителни тела.

На фиг.3 са показани два типа LED светлинни източници, които могат да се използват за заместване на луминисцентните лампи тип T8 – 36 W в съществуващите осветителни тела на метро-влаковете.



Фиг.3. Светодиодни /LED/ светлинни източници.

a – ретрофит TLED лампа с мощност 20 W; б – твърда LED лента (платка) от тип 2x10 W

3. РЕЗУЛТАТИ ОТ СИМУЛАЦИОННОТО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОСВЕТЛЕНИЕТО

За да се изчислят количествените показатели на осветлението, както и да се определи ефекта от предлаганата модернизация на ОУ, е използван специализиран софтуерен продукт за светлотехнически изчисления. Поради липса на точни светлотехнически характеристики на осветителите, инсталирани във вагоните на метро, при симулационното изследване са използвани такива със сходни светлоразпределителни криви. При избора на коефициенти на отражение на ограждащите повърхнини са отчетени цветовото оформление и остъкляването на страничните и челните стени на вагоните.

Изчисленията са проведени за всички типове вагони на метрото, както за съществуващите в момента осветителни уредби с луминисцентни лампи, така и за предлаганите два LED светлинни източници - ретрофит TLED лампа с мощност 20 W и твърда LED лента (платка) от тип 2x10 W.

Подробни резултати за изчислените средни стойности на осветеността, по обособени зони при различните типове вагони на метрото, за двата предлагани светлинни източника, са показани в табл.4.

Таблица 4

Данни за осветеността в обособените зони на вагоните на метрополитена при използване на LED светлинни източници

Тип вагон	81-717.4	81-714.4	81-740.2	81-741.2	81-740.2Б	81-741.2Б
ЗОНА	lx	lx	lx	lx	lx	lx
Седалки	201 (253)	200 (252)	409	409	421	421
Пътеки	251 (316)	249 (312)	436	437	453	453
Врати	181 (231)	189 (240)	387	385	400	400
Проходи	-	-	111	111	108	105

Заб. В скобите са посочени стойностите на осветеността при използване на твърди LED ленти (платки).

На фиг.4 и фиг.5-б са показани в графичен вид изчислените, с помощта на компютърна симулация, стойности на осветеността в различните типове вагони на метрото, при използване на светодиодни лампи тип TLED – 20 W.

Таблица 5

Икономически резултати за 6 годишен период на експлоатация при използване на различни светлинни източници

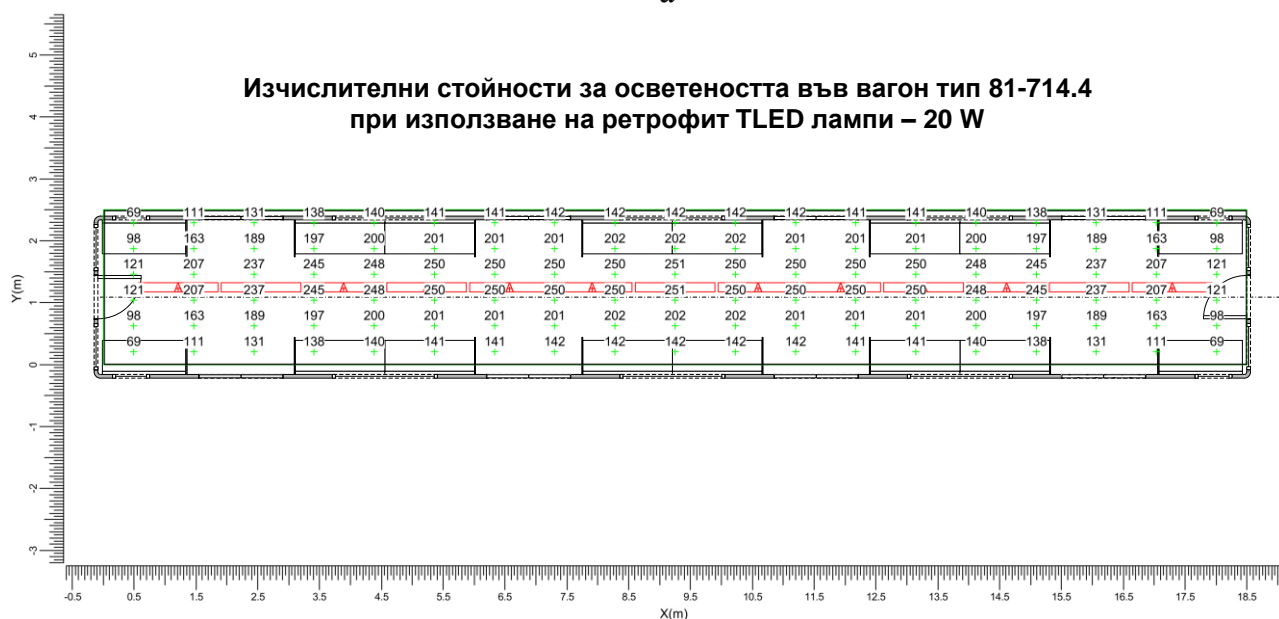
Тип вагон на метрото	Брой подмени	Брой лампи	Ед. цена на лампа и труд	Разходи за лампи	Разходи за ел. енергия	Общо разходи за 6 г.
При използване на луминисц. лампи с мощност 36 W и светлинен поток 3350 lm						
	бр.	бр. лампи	лв.	лв.	лв.	лв.
81-717.4	3	72	6,50	468,00	4860,00	5328,00
81-714.4	3	78	6,50	507,00	5265,00	5772,00
81-740.2	3	90	6,50	585,00	4995,00	5580,00
81-741.2	3	96	6,50	614,00	5328,00	5942,00
При използване на ретрофит TLED лампи с мощност 20 W и светлинен поток 1620 lm						
	бр.	бр. TLED	лв.	лв.	лв.	лв.
81-717.4	-	24	62,50	1500,00	2160,00	3660,00
81-714.4	-	26	62,50	1625,00	2340,00	3965,00
81-740.2	-	30	56,00	1680,00	2700,00	4380,00
81-741.2	-	32	56,00	1792,00	2880,00	4672,00
При използване на твърди LED ленти с мощност 10 W и светлинен поток 1020 lm						
	бр.	бр. ленти	лв.	лв.	лв.	лв.
81-717.4	-	48	26,00	1248,00	2160,00	3400,00
81-714.4	-	52	26,00	1352,00	2340,00	3692,00
81-740.2	-	60	26,00	1560,00	2700,00	4260,00
81-741.2	-	64	26,00	1664,00	2880,00	4544,00

За оценка на икономическия ефект от предлаганата модернизация на ОУ във вагоните на метрото е разработен икономически разчет за всяко техническо решение поотделно. При изготвянето му са заложили цени на техническите изделия и електроенергията, актуални към месец септември 2014 г. Разчетите са направени за срок от 6 години, който съвпада със средния живот на LED светлинните източници в реални експлоатационни условия от 30 000 часа.

Стойностната икономическа оценка на ефекта от модернизацията на осветителните уредби на метротовлаковете е показана в табл.5. Като основен показател за оценка на крайния икономически ефект е използван срокът за откупуване на инвестициите.

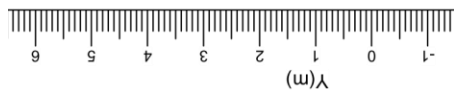


а

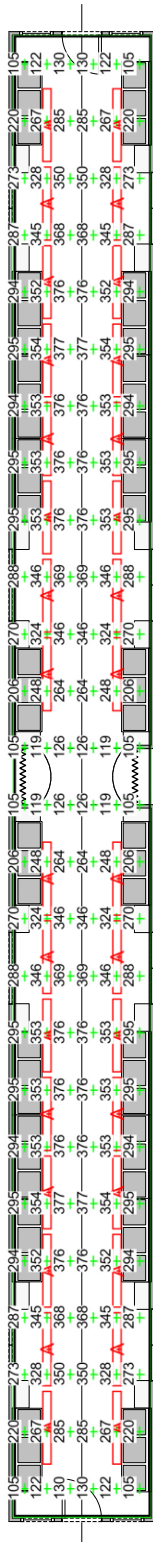


б

Фиг.4. Компютърно симулирани стойности на осветеността във вагони тип 81-717.4 и 81-714.4 при използване на лампи тип TLED – 20 W.

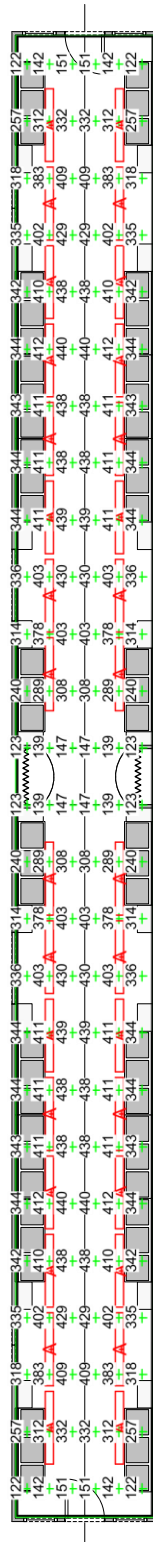


Изчислителни стойности за осветеността във вагон тип 81-741.2 при използване на TLED лампи – 20 W

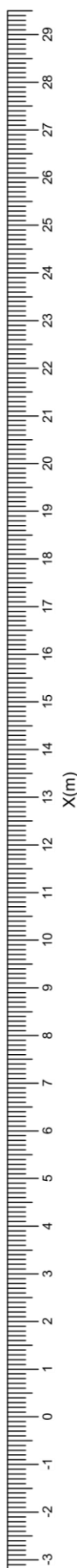


б

Изчислителни стойности за осветеността във вагон тип 81-741.2 при използване на луминисцентни лампи Т8 – 36 W



а



Фиг. 5. Компютърно симулирани стойности на осветеността във вагони тип 81-741.2
а – при използване на луминисцентни лампи Т8 – 36 W; б – при използване на лампи тип TLED – 20 W

Въз основа на данните от табл.5 са определени сроковете за откупуване на инвестициите, които за различните типове вагони са като следва:

- ❖ **За вагони от типове 81-717.4 и 81-714.4**
 - При модернизация с ретрофит TLED лампи – **50 месеца.**
 - При модернизация с твърди LED ленти – **46 месеца.**
- ❖ **За вагони от типове 81-740.2 и 81-741.2 (81-740.2Б и 81-741.2Б)**
 - При модернизация с ретрофит TLED лампи – **63 месеца.**
 - При модернизация с твърди LED ленти – **55 месеца.**

От икономическа гледна точка най-удачна е модернизацията на осветителните уредби във вагоните от тип 81-717.4 и 81-714.4 с използване на твърди LED ленти (платки). Срокът на откупуване на първоначалната инвестиция е около 3 години и 10 месеца, но след първия експлоатационен период от 30000 часа този срок намалява на 3 години и 6 месеца.

За новите модификации метро-влакове с вагони от тип 81-740.2, 81-741.2, 81-740.2Б и 81-741.2Б към настоящият момент модернизация на осветителните им уредби не е икономически оправдана, тъй като срокът на откупуване на инвестициите е близък до експлоатационния срок на LED светлинните източници.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлаганата модернизация на осветителните уредби в пътническите салони на метровагоните е съобразена със съвременните тенденции в изграждането на осветителни уредби в подвижния състав на обществения пътнически транспорт. С внедряването на съвременни LED светлинни източници се очаква да се постигнат следните ефекти:

- Намаляване консумацията на електрическа енергия за осветление във вагоните на метрото с около 50%.
- Намаляване на разходите за труд по подмяна на светлинните източници в осветителните тела.
- Подобряване на зрителния комфорт на пътниците в метрото.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 13272:2012, *Железопътна техника. Системи за електрическо осветление за подвижен състав в обществения транспорт*, Български институт за стандартизация, 2012.
- [2] Технически данни за осветителните уредби във вагоните на метро-влаковете, „Метрополитен“ ЕАД.
- [3] Berge O., *Lichtmessung*, Unterricht Physik 9 (1998) Nr. 47, Seite 17-18.

Автори: Георги Иванов Димитров, асистент инженер, катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта”, ВТУ „Тодор Каблешков”, E-mail address: dimitrov_gd@mail.bg; Марин Дичев Вълков, инженер в „Метрополитен” ЕАД, докторант в катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта”, ВТУ „Тодор Каблешков”, E-mail address: thepretender1987@gmail.com

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Захари Иванов

ВЛИЯНИЕ НА ПСИХОЛОГИЧНОТО СЪСТОЯНИЕ НА ЛОКОМОТИВНИТЕ МАШИНИСТИ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИЯ ПОДВИЖЕН СЪСТАВ

Иван Петров, Иван Лалов, Весела Георгиева, Илияна Лазарова

Резюме: Направено е изследване на влиянието на психологичното състояние на локомотивните машинисти върху енергийната ефективност на електрически подвижен състав. В него са участвали 33 локомотивни машинисти от локомотивни депа гр. София, Горна Оряховица и Пловдив. Те са с различна степен на квалификация и различен трудов стаж. При едно и също направление за всяко локомотивно депо е отчетен разхода на електроенергия. Направен е енергетичен анализ при различна степен на квалификация. Резултатите дават възможност да се търсят мерки за оптимизиране на разхода на ел. енергия при електрически локомотиви с неавтоматично управление.

Ключови думи: локомотиви, енергетика, електроснабдяване, транспорт и др

INFLUENCE OF THE LOCOMOTIVE ENGINEER'S PSYCHOLOGICAL STATE TO IMPROVE ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRICAL ROLLING STOCK

Ivan Petrov, Ivan Lalov, Vesela Georgieva, Iliyana Lazarova

Abstract: Examination of the influence of the locomotive engineer's psychological state on the energy efficiency of the electrical rolling stock is made. 33 locomotive engineers from depots in Sofia, Plovdiv and Gorna Oryahovitsa have taken participation in this examination. They have various level of proficiency and work experience. The energy consumption at same direction for every depot has been measured. Energetic analysis at various level of proficiency has been made. The results give possibility to find out means of energy consumption optimization at electrical rolling stock without automatic control.

Keywords: locomotives, energetics, electrical power supply, transport

ВЪВЕДЕНИЕ

С нарастването на цените на енергоресурсите се налага въвеждане на мероприятия, които да доведат до оптимално потребление на електрическа енергия в железопътните превози. Голяма част от електрическите локомотиви от държавните и частни превозвачи са предимно с косвено, неавтоматично управление на теглителната сила и скоростта на движение. Това дава възможност да се търсят

мерки за подобряване техниката на воденето на влак от локомотивните машинисти при минимален разход на електрическа енергия.

От съществено значение при управлението на тяговия подвижен състав е и психологическото състояние на локомотивния машинист. За тази цел бе извършен психоанализ на 33 локомотивни машинисти от локомотивни депа гр. София, Горна Оряховица и Пловдив, които са с различна степен на квалификация и различен трудов стаж.

СЪЩИНСКА ЧАСТ

Психологически анализ на успешността на груповата извадка обхваща:

- пет от лицата (16,6%) допуснати след второ изследване, което означава, нормата за ниво на професионално значимите психологически качества е постигната след повторно прилагане на тестовите методики;

- 11 от лицата (83,3%) са допуснати от първо психологическо изследване, които без затруднение постигат нормата при тестване на професионално-значими качества;

- 11 от лицата (36,6%) са със средно образование и квалификация за професията от курсове за квалификация в ЦПО, а 19 изследвани лица (ИЛ) (63,34%) са с различна степен на висше образование по специалността.

От петимата допуснати след второ изследване, двама са с полувисше образование и съответно 25 и 11 г. стаж по специалността, а другите трима – със средно образование и съответно 7, 3 и 10 год. трудов стаж, като локомотивен машинист. Тоест би могло да се търси значима корелация на показател успешност в справяне с психологическото изследване и ниво на образование и стаж по специалността.

Други фактори, които имат значимост при постигане на резултата са:

- моментното състояние на лицето в деня на провеждането на тестването;
- индивидуално типологическите особености на лицето, като например издръжливост на натоварване, самообладание, ниво на лична самооценка и самочувствие, увереност себе си, тревожност и т.н;
- наличие на обективни стрес фактори – умора, лични проблеми и др.

Анализ по сфери на психологическата структура на личността:

По отношение на когнитивната (познавателната) сфера и отражението ѝ върху **психосензориката** – точност и бързина на възприятията, устойчивост на вниманието, оперативна памет и оперативно мислене, изследването обхваща:

- 18 от изследваните лица (60,0%) са с високи резултати и резултати над средната норма за професията по изследваните качества. Може да се очаква, че имат способността за активно възприятия и разпознаване на стимули и информация, за концентрация на паметта и разсъждение (способност да оперират с перцептивна и вербална информация и да правят заключения, да възприемат и оперират с определени стимули под натиска на недостиг на време);

- 10 от изследваните лица (33,3%) са с резултати в рамките на нормата – времето за реакция е в средното ниво за професията;
- 2 от изследваните лица (6,4%) са с резултати под нормата по изброените психосензорни качества, но на повторното психологическо изследване са дали нормални средни резултати.

При изследване на **способността за логическо и образно пространствено мислене и изграждане на стратегии при решаване на проблемни задачи** резултатите са както следва:

- 8 от изследваните лица (26,6%) са с резултати в рамките на нормата;
- 4 от изследваните лица (26,6%) са с резултати под средната за професията норма при първо прилагане на тест за логическо мислене, но при повторно изследване са показали среден резултат – т.е. в нормата на професионални изисквания;
- 18 от изследваните лица са с резултати над средната , т.е. с много добри способности за логическо мислене и висок интелектуален потенциал. Това е преобладаващ резултат за извадката от изследваните лица.

При изследване на **психомоторната реакция** – се прилага компютърно моделиран динамичен тест, при който определени стимули , трябва да бъдат преработени своевременно, като в същото време локомотивният машинист трябва да взема решения и да приложи двигателна реакция с натискане на правилен бутон при зададен от експериментатора алгоритъм. Това дава информация за способностите на изследваните лица за **разпределение и превключване на вниманието и поддържане на висок вижиланс** (будност).

Изследването обхваща:

- 6 от изследваните лица (20,0%) при първо изследване са дали ниски резултати, но при второ изследване - са с резултати в норма за професията;
- 3 лица – (10,0 %) са с висок резултат, над нормата за професията .

По отношение на **личностовите особености** се наблюдават следните тенденции:

- 7 лица (23,3%) от изследваните имат нормална, средна склонност към поемане на допустими рискови решения в сложни ситуации , в сравнение с другите (76,7%) от лицата, които имат „ниска склонност към поемане на риск”, т.е. избягващи рискови решения в опасни ситуации;
- 17 лица (56,6%) лица са екстравертно ориентирани – т.е. добри лидери, способни да поемат отговорност и да се грижат за собствената и на колега безопасност, притежават автономност (умение да работи по независим начин) и гъвкавост (готовност за приемане и упражняване на нови дейности, промени);
- 12 лица (40,0%) са амбивертно ориентирани, т.е. гореспоменатите особености са в по-средни нива, не толкова екстремни като при екстравертите.
- един машинист е с интровертна насоченост. Интровертните личности са самовглъбени и насочени към вътрешния си свят хора, с по-ограничена комуникативност и резервирани да поемат отговорност за групата;

- нито едно от лицата няма психотични и асоциални нагласи в поведението, т.е. тенденция за асоциалност и ниска кооперативност в екипа;

По отношение на емоционалната стабилност преобладаващата част са:

- 24 човека (80,0%) са с резултати под средната за емоционална лабилност- т.е. устойчиви на стресови ситуации и фрустрация, имат ниски нива на раздразнителност и агресивност;
- 4 - ма души (13,3%) са с резултат в нормата, т.е. допустимо ниво на емоционалност за професията;
- 1 човек е с наднормена стойност по показател емоционална лабилност /неустойчивост/, като това не му е попречило да се справи успешно на тестовете по психомоторика, познавателни и интелектуални умения още на първото прилагане. Вероятно тази личностна черта е изиграла мотивиращо и компенсаторно влияние върху предизпитната му готовност.

Важно е да се подчертае, че изброените личностни качества се анализират в цялост, като се отчете взаимното им въздействие върху поведението. Така например човек с висока екстраверсия и висока емоционална лабилност ще е подвижен, бързо възприемащ, но с по-ниска концентрация, с прибързаност и риск от грешка, от импулсивно вземане на решения. Обратно – интроверт с висока емоционална неуравновесеност ще е склонен към самоокайване, депресия, тревожност и т.н. – предпоставки за неспособност да се приемат решителни действия в условия на стресова ситуация в работата и живота, ниска издръжливост на продължителни натоварвания и пр.

Извадката от изследваните лица, която анализираме няма лица с подобен профил, което е предпоставка да се очаква устойчиво поведение в професионално значимите ситуации.

Определяне на относителния разход на енергия се определя по формулата:

$$e = E/Q.S \quad W/kg.m, \quad (1)$$

където:

- E – изразходвана енергия;
- Q – маса на влака;
- S – изминат път.

В табл.1 са показани психологическите резултати и относителния разход на енергия на локомотивни машинисти от лок. депа София. От таблицата се вижда, че Цветомир и Драгомир са с много добри показатели от направените психоизследвания и са постигнали сравнително нисък относителен разход на енергия, а Станислав и Никола са със средни показатели от направените психоизследвания и среден относителен разход на ел. енергия.

На табл.2 са показани резултати от изследваните лица от локомотивно депо гр. Пловдив. От нея се вижда, че Георги Хр. е с много добри показатели от направените психоизследвания и значително нисък относителен разход на електроенергия, а Леонид е със средни показатели от направените психоизследвания и среден относителен разход.

Таблица 1

№ гр. София	Стаж, год	Образование	Когнитивни кач.	интелект	Психомоторика	риск	Е-И	Асоциалност	Неуравновесеност	Брой изсл,	е
Антон	19	пжи	ВИС	6	СР	СР	Е	не	под	Иво	0,00721
Цветомир	9	ср	ВИС	3	ВИС	СР	Е	не	ср	Иво	0,016544
Росен	29	пжи	СР	5	СР	НИС	Е	не	под	Иво	0,088857
Никола	14/7	ср	СР	6	НИС/СР	НИС	Е	не	под	Про	0,124102
Станислав	25	пжи	СР	3	НИС/СР	НИС	А	не	под	Про	0,103058
Красимир	28/	висше	ВИС	6	СР	СР	А	не	ср	Иво	0,007625
Драгомир	22	пжи	ВИС	5	СР	СР	А	не	под	Иво	0,123886
Димитър	13/8	ср	ВИС	5	СР	НИС	Е	не	под	Иво	0,114975
Михаил	2	пжи	ВИС	4	НИС/СР	НИС	А	не	под	Иво	0,1207
Бисер	25	пжи	СР	4	НИС/СР	НИС	Е	не	под	Иво	0,123671
Анатолий	18/	ср	ВИС	6	СР	НИС	Е	не	под	Иво	0,105321

Таблица 2

№ гр. Плавдив	Трудов стаж, год	Обр.	Когнитивни кач.	интелект	Психомоторика	риск	Е-И	Асоциалност	Неуравновесеност	Брой изсл,	е
Ангел	11	пжи	ВИС	6	СР	СР	Е	не	под	Иво	0,00459
Виктор	15/2	ср	ВИС	5	СР	НИС	Е	не	под	Иво	0,001135
Леонид	12/3	ср	НИС/СР	5	НИС/СР	НИС	Е	не	под	Про	0,00469
Георги А	20/5	ср	ВИС	5	СР	НИС	Е	не	под	Иво	0,00679
Николай Д	15/5	ср	ВИС	5	СР	НИС	А	не	ср	Иво	0,0102
Васил	31/20	висше	СР	6	НИС/СР	НИС	Е	не	под	Иво	0,00925
Георги Б	20	висше	ВИС	4	СР	НИС	А	не	над	Иво	Няма електромер
Митко	21	пжи	ВИС	4	СР	НИС	Е	не	под	Иво	0,004571
Деян	22	пжи	ВИС	6	ВИС	СР	А	не	под	Иво	0,00667
Славко	28	висше	СР	4	ВИС	НИС	И	не	под	Иво	0,00469
Георги Хр	25	висше	СР	4	ВИС	НИС	Е	не	под	Иво	0,0010

Резултати от локомотивно депо гр. Горна Оряховица в табл.3 показват, че Свилен е с много добри показатели от направените психоизследвания и значително нисък относителен разход на електроенергия, а Иван и Момчил са със средни показатели от направените психоизследвания и среден относителен разход на ел. енергия.

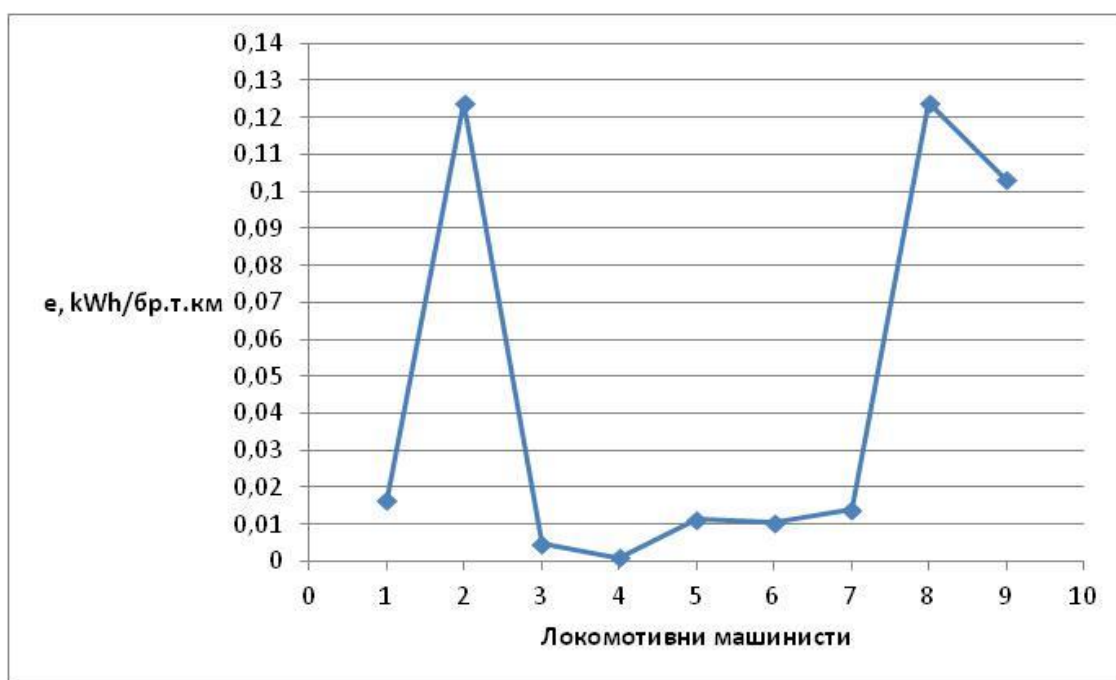
Таблица 3

№ гр. Горна Оряховица	Трудов стаж, год	Обр.	Когнитивни кач.	интелект	Психомоторика	риск	Е-И	Асоциалност	Неуравновесеност	Брой изсл,	е
Иван	15/10	ср	НИС/СР	3/4	-	НИС	А	не	ср	Про	0,014032
Красимир	22	пжи	СР	6	СР	НИС	А	не	под	Иво	0,008688
Ивайло	16	висше	ВИС	5	-	НИС	Е	не	под	Иво	0,0063
Витан	28	ср	СР	5	-	НИС	А	не	под	Иво	0,01462
Христо	25	висше	ВИС	5	-	НИС	Е	не	под	Иво	0,008627
Николай	22	ср	СР	4	-	НИС	А	не	над	Иво	0,019741
Момчил	11	висше	ВИС	3/5	СР	СР	А	не	под	Про	0,01037
Свилен	22	пжи	ВИС	4	ВИС	НИС	Е	не	под	Иво	0,0112

От представителните извадки на резултатите на психофизическите изследвания на локомотивните машинисти е построена зависимостта (виж табл.4 и фиг.1) между локомотивните машинисти и относителен разход на енергия. От графиката се вижда, че локомотивните машинисти със стабилно психическо състояние реализират един оптимален разход на електроенергия.

Таблица 4

№	Име	е, kWh/бр.т.км	Легенда
1	Цветомир	0,016544	НИС - за рисково поведение –означава,че лицето има ниска склонност към рискови решения СР - за рисково поведение –означава,че лицето има средна склонност към рискови решения Е - екстраверт А - амбиверт И - интроверт Не - за асоциалност – означава неизразена асоциалност и липса на психотични тенденции в характера Ср,под,над – за емоц. неуравновесеност- под норма, над норма и средна /нормална/ емоционално равновесие
2	Драгомир	0,123886	
3	Леонид	0,00469	
4	Георги Хр	0,001	
5	Свилен	0,0112	
6	Момчил	0,01037	
7	Иван	0,014032	
8	Никола	0,124102	
9	Станислав	0,103058	



Фиг.1. Зависимост на относителен разход на енергия и локомотивни машинисти.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Психологическата годност на персонала, който осъществява железопътните превози на пътници и товари и съпътстващите ги дейности показва, че влияе и върху техниката на водене на влак. Когато персонала е с по- високи психологически качества спомага както за безопасността на движението а така също и възможност за намаляване на енергийното потребление на подвижния състав.

Дейностите за психологическата годност на персонала, се регламентира от Наредба 54 от 2003 г. Сегашните условия на многократно завишен психоемоционален стрес предизвикват социално-психологически промени в начина на живот и **изискват прецизиране на психологическата експертиза за прогнозиране на пригодността на локомотивните машинисти с оглед повишените европейски изисквания** към безопасността на движението /превоза на пътници и товари/ в жп транспорта. Определеният досега срок за психологическа годност не дава възможност за ранно откриване на настъпили промени – в познавателната, емоционалната и поведенческата сфери, както и симптоми като неадекватно и рисково поведение, лоша преценка, насилие, самонараняване, нетрудоспособност.

По-кратките срокове на психологическите изследвания могат да улеснят проследяването на вредни навици, свързани с прекомерна употреба на алкохол и други психоактивни вещества, които са сред най-достъпните начини за справяне с дистреса и хроничния стрес, но и са един от най-рисковите фактори, определящи професионалното поведение на персонала.

Би трябвало да се съобразим и с установените в световен мащаб норми за валидност на психологическите изследвания във всички видове транспорт – въздушен, воден, железопътен и автомобилен, фиксиран за 3-годишен период на валидност.

Във връзка с изложеното в настоящия доклад предлагаме при предстоящи промени в текстовете на Наредба № 54 от 2003 г.от да се заложат нови, по-кратки срокове на валидност на психологическите изследвания.

Необходимо е жп предприятията и управителите на инфраструктурата да внедрят система за управление на компетентностите, която да гарантира, че индивидуалните компетентности на техния персонал се оценяват и поддържат актуални, особено по отношение на слабостите и недостатъците в системата или индивидуалните качества на персонала.

Основна стъпка в тази посока е провеждането на периодични обучения на локомотивните бригади за борба с дистреса и хроничния стрес, за повишаване на мотивацията и екипността.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ненов Н., Движение на влаковете и оптимални режими на управление, София, 2008 г.
- [2] Българанов Л., Електрически транспорт. София, 2004 г.
- [3] Деев В. Тяга поездов. Транспорт, Москва, 1987 г.
- [4] Айзенк, Х „Модел за личност ,София: Наука и изкуство, 1987.

[5] Кокошкарлова А. Психологично изследване на личността в клиничната практика. София, 1984.

[6] Михалкова Ст., Психологическо освидетелстване на локомотивни машинисти с оглед специфичните изисквания при съвременните условия на труд, доклад за МТ, 1985

[7] Материали и резултати от психологическите изследвания на локомотивните машинисти в лаборатория за психоподбор в ж.п. транспорта НМТБ „Цар Борис III” София

Автори: Иван Петров, доц. д-р. инж., ВТУ „Тодор Каблешков“ София, Иван Лалов, инж., ИА „ЖА“, София, Весела Георгиева, психолог-началник лаборатория за психоподбор в ж.п. транспорта НМТБ, Илияна Лазарова, психолог в лаборатория за психоподбор в ж.п. транспорта НМТБ

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: гл. ас. д-р инж. Тодор Йонов

МНОГОФАКТОРНО ЕЛЕКТРОННО РЕГУЛИРАНЕ НА ОТОПЛИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ В ТРАМВАЙНИ МОТРИСИ И ТРОЛЕЙБУСИ

Иван Петров, Георги Димитров, Борислав Цветанов

Резюме: В работата е представен един вариант на електронна система за регулиране на електронагревателни отоплителни уредби в градския електрически транспорт. Необходимостта от използване на автоматизирано управление на отоплението е продиктувана от постигане на ефективно регулиране, с минимално влияние на субективни фактори. Предлаганата електронна система за регулиране е разработена на база европейски норми и стандарти и в нея е направен опит да се обхванат всички основни фактори, оказващи влияние върху поддържане параметрите на топлинен комфорт в реални експлоатационни условия.

Ключови думи: отоплителни уредби на градски електрически транспортни средства, електронна система за регулиране на отоплителни уредби

MULTIFACTOR ELECTRONIC CONTROL OF THE HEATING SYSTEMS IN TRAMS AND TROLLEYS

Ivan Petrov, Georgi Dimitrov, Borislav Tzvetanov

Abstract: The work presents a variant of an electronic system for regulating electric heating systems in urban electric transport. The necessity to use automated heating control is dictated by achieving effective regulation, with minimal impact of subjective factors. The proposed electronic system for regulation was developed based on European standards and it is an attempt to cover all the main factors affecting the maintenance of thermal comfort parameters in real operating conditions.

Keywords: heating systems of urban electric vehicles, electronic regulation of heating systems

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Общественият градски транспорт и в частност електрическият такъв, играе съществена роля за градската мобилност на населението в големите градове. През последните години се наблюдава трайна тенденция към намаляване броя на пътуванията с градски електрически транспорт /ГЕТ/. Малките превозни разстояния (около 2÷3 km), цените на единичните пътувания с наземен градски електрически транспорт, както и недотам високият комфорт на пътуване, пренасо-

чиха голяма част от населението в дееспособна възраст да използва за придвижване личните си автомобили.

За привличане на повече пътници в обществения градски транспорт е необходимо той да осигурява бързина и удобство на придвижване, както и съответен комфорт на пътуване, който най-често се олицетворява с осигуряване на съответни физиологични параметри на топлинен комфорт.

В настоящата разработка е представен вариант на система за регулиране на електронагревателни отоплителни уредби в градския електрически транспорт. Предлаганата електронна система е разработена на база европейски норми и стандарти и в нея е направен опит да се обхванат всички основни фактори, оказващи влияние върху поддържане параметрите на топлинен комфорт в реални експлоатационни условия.

2. СЪЩНОСТ НА ПРОБЛЕМА

В градския електрически транспорт у нас са в редовна експлоатация повече от 30 модификации електрически транспортни средства /ЕТС/, които в общия случай се различават по своите габаритни размери и топлоизолационни характеристики. Налице е и голямо разнообразие в използваните за отоплението им електронагревателни уреди, както по вид така и по инсталирани мощности, при различните модификации ЕТС. Последното е причина за значителни разлики в средните температури, поддържани в зоните за пътници през характерните зимни месеци на годината.

При голяма част от старите градски ЕТС липсва автоматизирана система за управление на отоплителната система и регулиране на температури или инсталираната такава е от релеен тип със значителен хистерезис. В значителна част от трамвайните мотриси, произведени и реновирани у нас, инсталираните мощности за отопление са недостатъчни, за да осигурят необходимата, според европейските стандарти [1, 5], комфортна температура за пътниците.

3. АНАЛИЗ НА ОТОПЛИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ТРАНСПОРТНИ СРЕДСТВА НА ГРАДСКИЯ ТРАНСПОРТ

За отопление на старите модификации градски ЕТС се използват електрически отоплителни тела с естествена и принудителна циркулация на въздуха. Отоплителните тела с естествена циркулация на въздуха („конвектори”) са широко разпространени при трамвайните мотриси. Отоплителни тела с принудителна циркулация на въздуха („калорифери”) се използват при всички стари модификации тролейбуси и останалата част от трамвайните мотриси.

Отоплителните тела с естествена циркулация на въздуха са разположени по дължината на ЕТС (едностранно или двустранно), като имат линейна плътност на топлинната мощност $0,40 \div 0,60 \text{ W/m}$. Отоплителни тела с принудителна циркулация на въздуха са разположени в определени точки, най-често в близост до вратите, като се използват такива с мощности 3,0 kW, 3,5 kW и 4,5 kW.

4. ОСНОВНИ ФАКТОРИ ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ ПАРАМЕТРИТЕ НА ТОПЛИНИЯ КОМФОРТ

Върху параметрите на топлиния комфорт в ЕТС оказват влияние редица фактори, които могат да се класифицират в следните групи:

- **Фактори свързани с характеристиките на ЕТС:**

- **Коефициент на топлопреминаване през външните ограждащи елементи - $U, \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$** – Чрез него се дефинират топлоизолационните свойства на външните ограждащи повърхнини. Изчислява се за всеки тип ограждащ елемент (стени, покрив, прозорци и т.н.) по отделно.

- **Естествена инфилтрация на външен студен въздух** – Получава се в следствие недобра плътност на вратите, отваряемите елементи на прозорците и покривните люкове, както и при цикъла отваряне/затваряне на вратите при престой на спирките. Води до допълнителни загуби на топлина.

- **Инсталирана мощност за отопление - P_{heat}, W** – Нейното влияние се изразява във възможността да компенсират загубите на топлина при екстремно ниски външни температури.

- **Външни за ЕТС фактори:**

- **Температура на външния въздух - $T_{ext}, ^\circ\text{C}$** – Тя оказва най-съществено влияние върху топлинните загуби в ЕТС.

- **Слънчево греене** – То осигурява допълнителен приток на топлина през прозрачните (прозорци) и непрозрачните (странични стени и покрив) ограждащи елементи.

- **Топлинно излъчване от пътниците** – Допълнителната топлинна мощност зависи от текущия брой на превозваните в дадено ЕТС пътници. Обичайната топлинна мощност от един пътник е около **20÷25 W**.

Всички посочени фактори, взети в съвкупност, оказват съществено влияние върху поддържане параметрите на топлиния комфорт в електрическите транспортни средства на градския транспорт.

За да може да се реализира прецизно управление на отоплителните системи в ЕТС, е необходимо да се познават в детайли параметрите на конструкцията на граничните с външен въздух повърхнини (странични и челни стени, под, таван, прозорци и врати), както и топлофизичните характеристики на материалите, от които те са изградени.

Основен параметър, чрез който се оценява способността на подвижния състав да съхранява топлина в зоната за пътници, е обобщеният коефициент на топлопреминаване (според [1] общ коефициент за пренос на топлина) $k, \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$, между транспортното средство и външната околна среда, който се дефинира с формулата [2]:

$$k = \frac{P_h}{T_{im} - T_{em}}, \quad (1)$$

където:

P_h е топлинната мощност отдавана вътре в транспортното средство, W;

T_{im} – средна стойност на вътрешната температура на въздуха в транспортното средство, °C;

T_{em} – средна стойност на външната температура на въздуха около транспортното средство, °C.

Обобщеният коефициент на топлопреминаване k , $W/m^2.K$ може да бъде определен и с използване на аналитични методи [3], приложими и при електрическите транспортни средства. За целта се използват топлофизичните характеристики и размерите на елементите на ограждащите конструкции на подвижния състав. Потребната електрическа мощност за отопление от своя страна също може да бъде изчислена с използване на коефициента на топлопреминаване.

Обобщеният коефициент на топлопреминаване на i -тия подвижен състав може да се изчисли по формулата:

$$k_i = \frac{\sum_{k=1}^n (U_k \cdot A_k)_i + H_{vi}}{A_{ei}}, \quad (2)$$

където:

U_k е коефициентът на топлопреминаване през k -тата ограждаща повърхнина в ЕТС, $W/m^2.K$;

A_k – площ на k -тата ограждаща повърхнина в ЕТС, m^2 ;

H_{vi} – коефициент за пренос на топлина с инфилтрирания в ЕТС външен въздух, W/K;

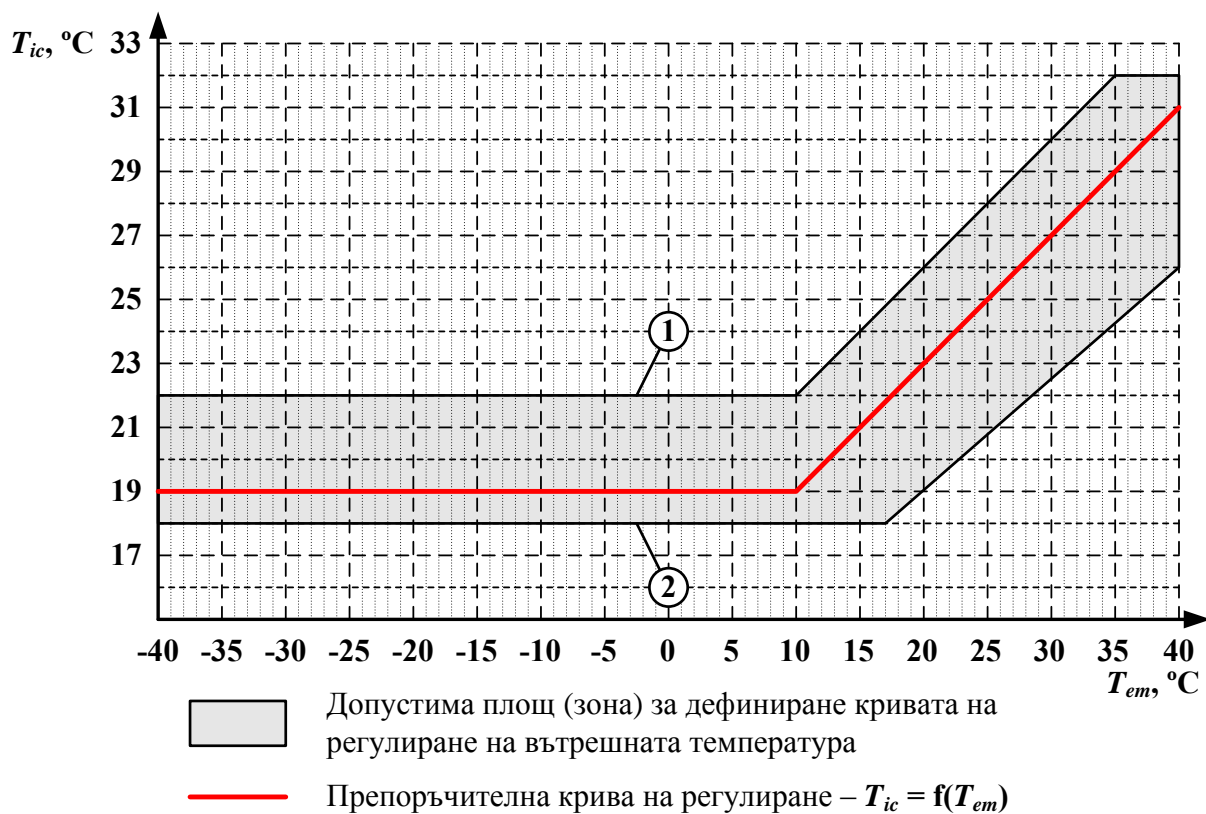
A_{ei} – обща площ на ограждащите повърхнини граничещи с външен въздух, m^2 .

В съвременната практика за определяне на загубите най-често се прибегва до провеждане на експериментални измервания в реални или тестови условия, въз основа на които се определя и обобщеният коефициент на топлопреминаване (коефициента на пренос на топлина) k_i .

За определяне на необходимата топлинна мощност е удачно да се използва изчислителен израз в относителни единици. Така относителната мощност p_{hi} , W/m^2 необходима за покриване на топлинните загуби на i -тата група електрически подвижен състав на ГЕТ, с обобщен коефициент на топлопреминаване k_i , може да се изчисли с използване на следната формула:

$$p_{hi} = k_i \cdot (T_{im} - T_{em}). \quad (3)$$

На фиг.1 е показана допустимата зона за дефиниране кривата на регулиране на температурата в зоната за пътници, според средната стойност на външната температура T_{em} , в съответствие с БДС EN 14750-1:2006 [1]. Тук T_{ic} е зададената стойност за средна вътрешна температура.



Фиг.1. Зона за регулиране на температурата в ЕТС съгласно БДС EN 14750-1:2006

- 1 – Горна гранична крива на зоната за регулиране;
 2 – Долна гранична крива на зоната за регулиране.

На фиг.2 са показани фамилия характеристики на относителната отоплителна мощност p_h , W/m^2 при различни стойности на обобщения коефициент на топлопреминаване k , $W/m^2.K$ за поддържане на средна вътрешна температура $T_{im} = 19\text{ }^\circ\text{C}$.

5. ИЗБОР НА СЕНЗОРИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ТЕМПЕРАТУРА

Автоматизираното регулиране на отоплението в ЕТС на градския транспорт изисква прецизно измерване на външните и вътрешните температури на въздуха. За тази цел могат да се използват следните видове сензори, обособени в групи според вида на изходния сигнал:

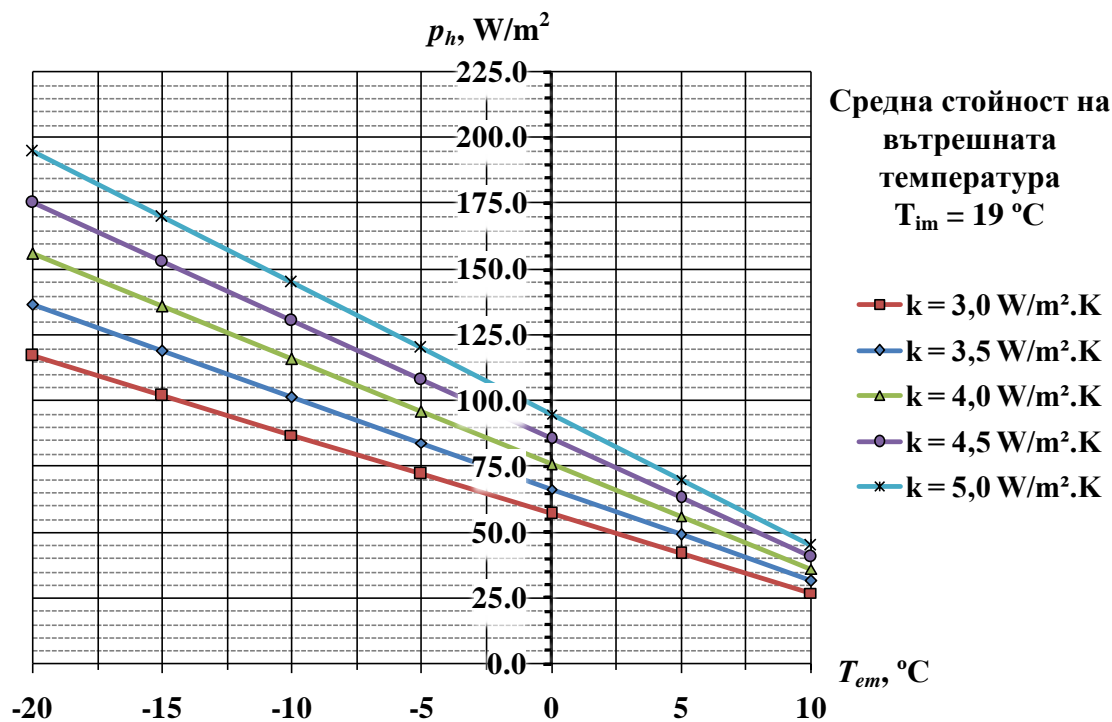
❖ Аналогови сензори:

- Термоелектрически преобразуватели (термодвойки).
- Терморезистивни преобразуватели.
- Интегрални полупроводникови температурни сензори.

❖ Цифрови сензори:

- Сензори с импулсен (последователен) изход.
- Сензори с вграден аналогово-цифров преобразувател /АЦП/ и двоичен (бинарен) изход.

За да изпълнят успешно своите функции, сензори за измерване на температурата трябва да отговарят на съответни критерии.



Фиг.2. Характеристики на относителната отоплителна мощност $p_h, \text{W/m}^2$ при различни стойности на обобщения коефициент на топлопреминаване $k, \text{W/m}^2.\text{K}$

Критериите за избор на сензори за измерване на външната и вътрешната температура, за целите на регулиране на отоплението в ЕТС са следните:

- Температурен обхват – от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Точност – не по-малка от $\pm 0,5 \div 0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Линеиност – $0,1 \div 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ за целия измерван диапазон.
- Резолюция (чувствителност) – не по-ниска от $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$.

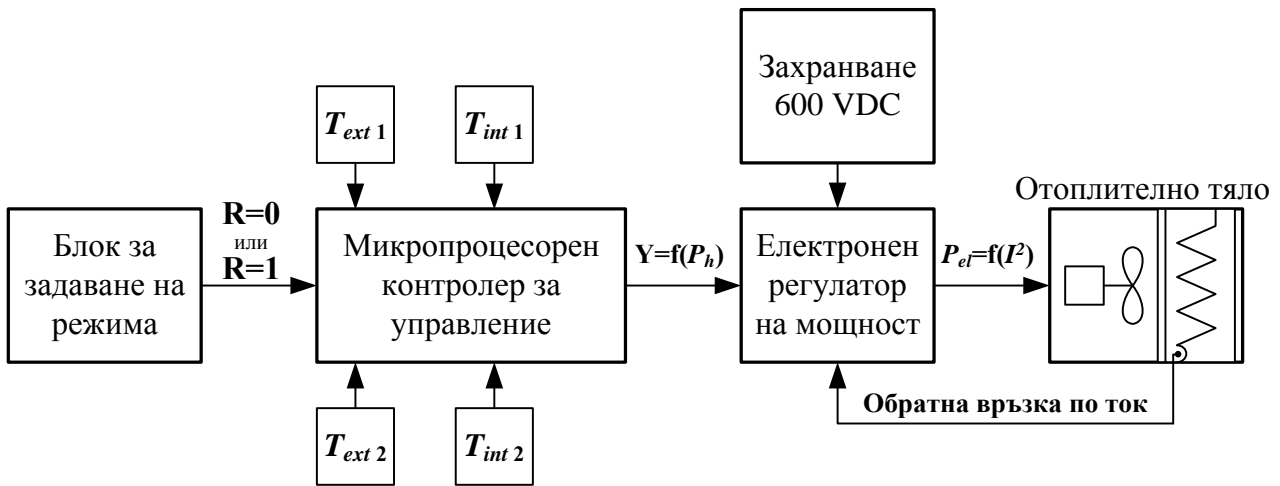
Най-подходящи за използване в електронните системи за регулиране са цифровите сензори (с импулсен или бинарен изход), тъй като те позволяват директно да бъдат свързани към микропроцесорен контролер и отговарят на посочените критерии.

6. АВТОМАТИЗИРАНА СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ОТОПЛЕНИЕТО В ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТРАНСПОРТНИ СРЕДСТВА И РЕЖИМИ НА РЕГУЛИРАНЕ

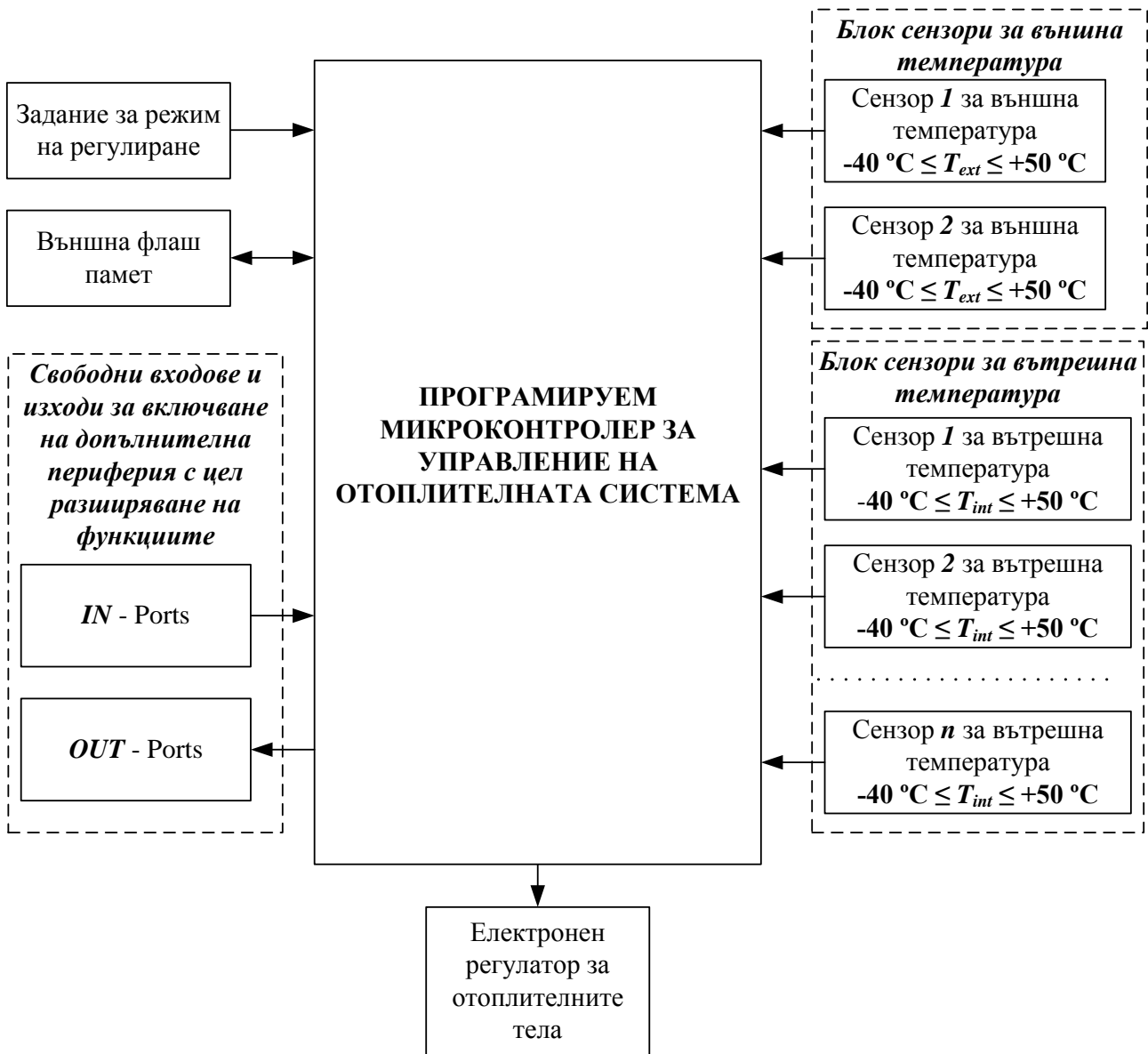
За реализиране на многофакторно регулиране на отоплението в ЕТС е разработена електронна микропроцесорна система.

На фиг.3 е показана блокова схема на цялостната система за регулиране на отоплението, а на фиг.4 - блокова схема на контролера за управление.

Основните елементи на автоматизираната система са програмируемият микропроцесорен контролер и електронният регулатор за отоплителните тела. Програмирането на контролера се извършва въз основа на специализиран алгоритъм, разработен база нормите заложи в БДС EN 14750-1:2006.



Фиг.3. Блокова схема на системата за регулиране.



Фиг.4. Блокова схема на контролера за управление.

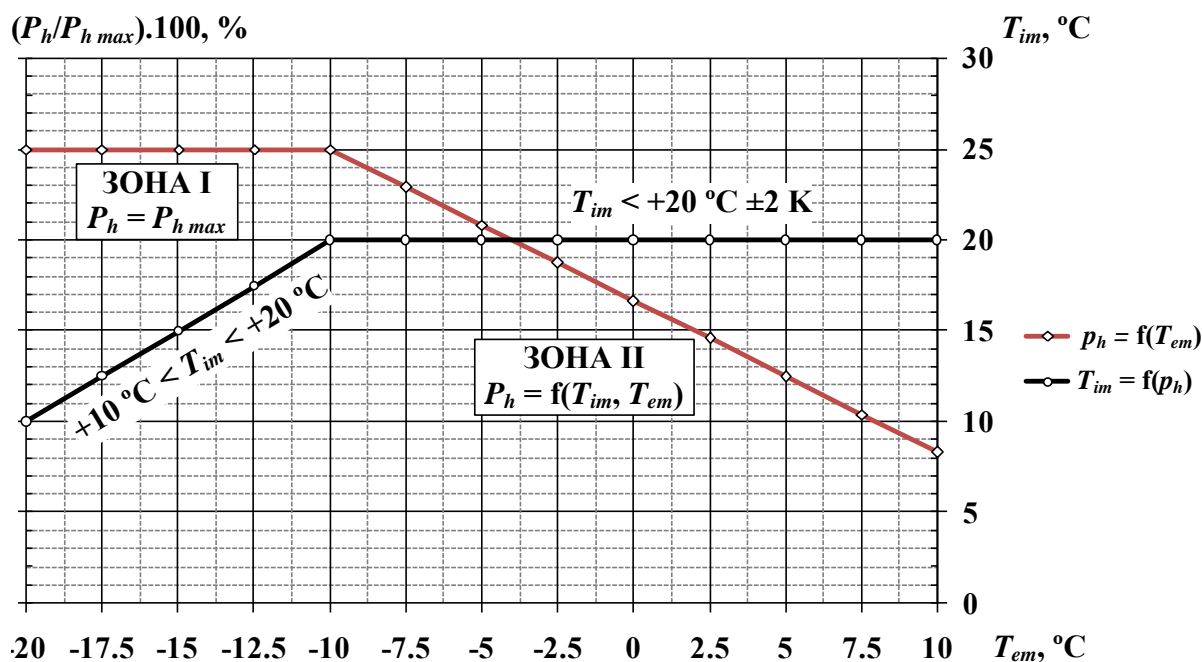
Възможните режими на регулиране, които могат да се реализират с автоматизирана система за управление на отоплението в ЕТС са следните:

➤ **Регулиране на топлинната мощност според текущата средна стойност на температурата на външния въздух - T_{em} , °C** - това е основният режим на регулиране с цел поддържане на относително постоянна средна стойност на вътрешната температура $T_{im} = 19$ °C при -10 °C $\leq T_{em} \leq +10$ °C.

➤ **Режим „Форсирано отопление“** - този режим осигурява ускорено затопляне при бързо понижаване на вътрешната температура или първоначално затопляне на ЕТС. Отоплителната система се включва на пълна мощност до достигане на $+17$ °C.

➤ **Възможност за реализиране на режим „Economy“** - допълнителен режим, при който в зоната за пътници се поддържа вътрешна температура $+12$ °C в случай на продължителен експлоатационен престой на крайни станции или стоянки.

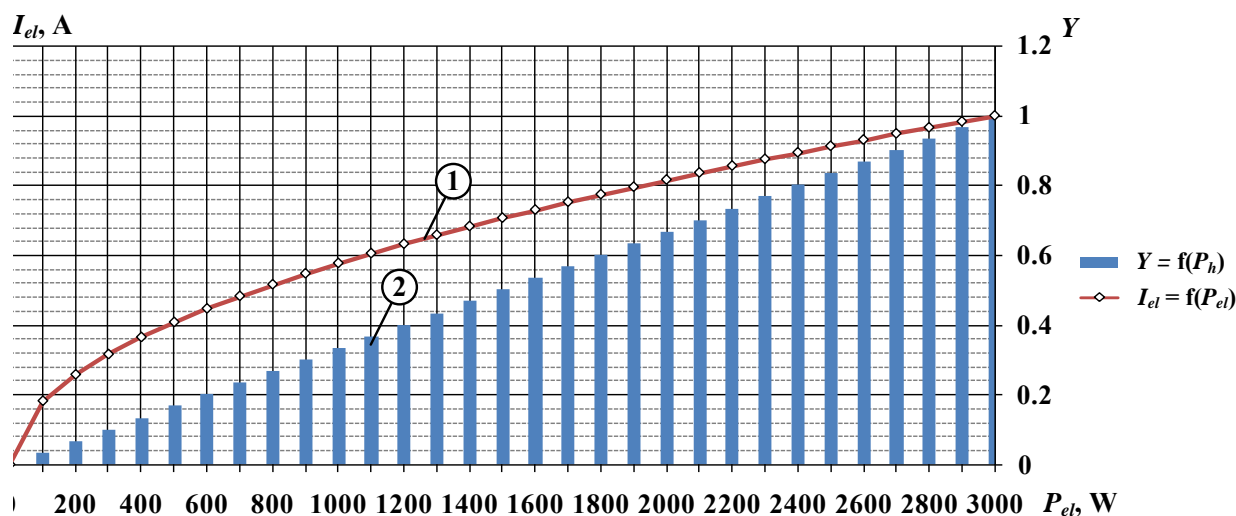
На фиг.5 е показана характеристика на регулиране на относителната топлинна мощност p_h , и поддържаната вътрешна температура T_{im} , при изменение на средната външна температура T_{em} в дефинирания за България диапазон. Характеристиката $p_h = f(T_{em})$ е построена за ЕТС с обобщен коефициент на топлопреминаване $k = 3,5$ W/m².K, които са най-масово експлоатирани у нас.



Фиг.5. Регулировъчна характеристика на топлинната мощност P_h , изразена в относителни единици % от максималната $P_{h,max}$, и поддържаната вътрешна температура T_{im} , при изменение на средната външна температура T_{em} в дефинирания за България диапазон.

На фиг.6 е показана характеристиката на регулиране на силовия импулсен регулатор - изменение на електрическата мощност P_{el} на калориферно отоплително

тяло с мощност 3000 W във функция от управляваната и контролирана величина – електрическият ток I_{el} през нагревателния елемент. Допълнително е показана и характеристиката на управляващия сигнал, подаван от контролера, $Y = f(P_h)$ в относителни единици.



Фиг.6. Характеристиката на регулиране на електронния регулатор
 1 – Изменение на електрическата мощност P_{el} , на калориферно отоплително тяло с мощност 3000 W във функция от управляваната и контролирана величина I_{el} ;
 2 – Характеристика на управляващия сигнал $Y = f(P_h)$ в относителни единици.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложеният принцип на регулиране е приложим при всички тролейбуси и трамвайни мотриси с конвекторни и калориферни електрически отоплителни тела. Прецизността на регулиране в най-голяма степен зависи от избора на сензори за измерване на температурата и тяхното разположение в електрическите транспортни средства на градския електротранспорт [2].

Представените в разработката изчислителни зависимости и графични характеристики могат да бъдат използвани за определяне на необходимите отоплителни мощности в ЕТС при производството на нови или реновирането на старите транспортни средства.

Разработка е на етап проектиране и изработване на прототип на микропроцесорния контролер и електронния регулатор. След провеждане на функционални лабораторни тестове с регулатора, предстои той да бъде изследван в реални експлоатационни условия. Масовото внедряване на регулатора при ЕТС на наземния градски транспорт зависи до голяма степен от волята на експлоатационните предприятия за „Електротранспорт“ у нас.

В заключение следва да се отбележи, че към настоящия момент не може да се направи прогноза за енергийния ефект от използване на електронния регулатор, тъй като при подобряване параметрите на микроклимата в ЕТС, може електроенергийното потребление да нарасне.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 14750-1:2006, *Железопътна техника. Климатизатори за градски и крайградски подвижен състав. Част 1: Основни показатели за комфорт*, Български институт по стандартизация, 2006 г.
- [2] БДС EN 14750-2:2006, *Железопътна техника. Климатизатори за градски и крайградски подвижен състав. Част 2: Типови изпитвания*, Български институт по стандартизация, 2006 г.
- [3] Стамов С. и кол., *Справочник по отопление, вентилация и климатизация – I част*, Техника, София, 1990 г.
- [4] Технически и енергетични данни за електрическите транспортните средства в експлоатация в гр. София, „Столичен електротранспорт” ЕАД, 2012 г.
- [5] Haller G., *Thermal Comfort in Rail Vehicles Main Features and Experiences*, RTA Rail Tec Arsenal Fahrzeugversuchsanlage GmbH – Vienna, Professional article September 2006.

Автори: Иван Петров Петров, доц. д-р инж., катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта”, ВТУ „Тодор Каблешков”, E-mail address: ivanpetrov60@abv.bg; Георги Иванов Димитров, асистент инж., катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта”, ВТУ „Тодор Каблешков”, E-mail address: dimitrov_gd@mail.bg; Борислав Михайлов Цветанов, маг. инж., катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта”, ВТУ „Тодор Каблешков”, E-mail address: borislav70@abv.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: гл. ас. инж. Иван Ангелов

ПЛАТФОРМА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФОТОВОЛТАИЧНИ ГЕНЕРАТОРИ СЪС СЛЪНЦЕСЛЕДЯЩИ СИСТЕМИ

Захари Зарков, Людмил Стоянов, Владимир Лазаров, Християн Кънчев

Резюме: Целта на тази статия е да представи разработката и реализацията на експериментална платформа за изследване на фотоволтаици. Платформата се състои от три слънцеследящи системи с монтирани на тях пет фотоволтаични генератори по една от всяка от наличните на пазара технологии (моно-, поликристален силиций, аморфен силиций, кадмиев телурид и медно-индиево-галиев селенид). Реализираните генератори са с близки максимални мощности, което позволява сравнително изследване на различните технологии фотоволтаични панели и еднакви инвертори при идентични условия и положения на панелите: в режим на слънцеследене или при фиксирано положение.

Ключови думи: фотоволтаични генератори, характеристики, слънцеследящи системи, сравнителен анализ, събиране на данни

PLATFORM FOR RESEARCH ON PV GENERATORS WITH SOLAR TRACKERS

Zahari Zarkov, Ludmil Stoyanov, Vladimir Lazarov, Hristiyan Kanchev

Abstract: The aim of this paper is to present the realization of an experimental platform for study of photovoltaic systems. The platform is composed of three solar trackers with five separate PV generators mounted on them: one of each PV-technology available on the market (mono- and polycrystalline silicone, thin-film, CdTe and CIGS). The generators have very close maximum power outputs, which makes them suitable for comparative studies of different PV technologies and the same inverters under the same circumstances and positioning: in tracking mode or fixed angle-mode.

Keywords: photovoltaic generators, characteristics, solar trackers, comparative study, data acquisition

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Инсталациите с фотоволтаични (ФВ) панели могат да се разделят на две големи групи – статични и подвижни (слънцеследящи). В първия случай панелите са закрепени на стойки, които са неподвижни в продължение на няколко месеца или целогодишно. При подвижните системи модулите са закрепени на подвижна рамка, която променя своето местоположение през деня. Движението може да се извършва по една или по две оси.

Сравнението на неподвижните и слънцеследящите системи е обект на много различни изследвания, целящи определянето на предимствата и недостатъците им.

Статичните системи за монтаж на фотоволтаични панели обикновено се изработват от стоманени или алуминиеви профили, закрепени в земята и ориентирани най-често на юг (в Северното полукълбо на Земята) под даден наклон. Основните предимства на статичните фотоволтаични системи са здравината и липсата на нужда от поддръжка и подмяна на механизми за преместване. Недостатъкът им е неизползването на максималното възможно количество слънчева радиация.

При слънцеследящите системи (тракери) с една ос на движение съществуват две концепции. При първата от тях оста на движение е ориентирана север-юг и панелите следват движението на Слънцето от изток на запад. Оста е наклонена спрямо хоризонталното положение както при неподвижните системи. Посредством тази техника за следене на Слънцето се постига увеличение на получената от модулите слънчева радиация с около 19-24% [1] спрямо статичните системи. При втората концепция, при която оста на движение е хоризонтална и панелите следят височината на Слънцето на небосклона се постига по-малко увеличение - около 15% [2].

При концепцията за двуосно следене на Слънцето първата ос следва движението на Слънцето от изток на запад, а втората - неговата височина на небосклона. Така се постига най-голямо увеличение на слънчевата радиация получена от фотоволтаичните модули – 30-40% повече отколкото при фиксирана конструкция [3], [4], [5].

Повечето едноосни и двуосни слънцеследящи системи използват за управление на задвижващите механизми контролер с предварително зададени уравнения, които насочват панелите по определен начин според географското положение на системата и часа от годината. Предимствата на този тип управление са неговите простота и сигурност. Недостатък е възможността за неточност при следенето на Слънцето поради грешки в координатите или в зададеното време. Друга възможност за управление е чрез контролери със светлинни сензори, които насочват системата точно към Слънцето, когато няма облаци. Недостатъкът на тези системи е, че при липса на директна слънчева радиация (облачно време) посоката на панелите не е ясно дефинирана.

Освен явното предимство в увеличението на първичния слънчев потенциал слънцеследящите системи имат и някои недостатъци:

- по-висока цена на инсталацията спрямо фиксираните системи;
- увеличена сложност поради наличието на движещи се механизми;
- закрепването в земята, изисква по-големи и по-скъпи фундаменти;
- намалено количество получена слънчева радиация при облачни дни, тъй

като тогава слънчевото лъчение идва от целия небосвод, а наклонът на панелите намалява частта от небето, която те „виждат“ [6], [7].

Изброените качества на слънцеследящите системи се допълват от тяхното лесно ориентиране в дадена посока, когато тяхното приложение е за изследователски цели. Това дава възможност за изследване на производителността на фотоволтаичните панели при различни позиции. Целта на настоящата работа е да се представи разработката и реализирането на експериментална платформа за изследване на фотоволтаици, която позволява:

1. Режим на слънцеследене по две направления – ъгъл на наклон и азимут;

2. Работа при режим на фиксиран ъгъл на наклона и зададен азимут;
3. Автоматично следене и регистриране на произведената енергия, слънчевата радиация, температурата на панелите и околния въздух, скоростта на вятъра;
4. Възможност за изследване на различни технологии фотоволтаични панели при едни и същи условия.

2. СТРУКТУРА НА СИСТЕМАТА

В рамките на експерименталната платформа са създадени пет фотоволтаични системи, свързани към електрическата мрежа посредством еднофазни инвертори. ФВ модули са разположени на 3 слънцеследящи системи от тип Feina SF20 със следните основни характеристики:

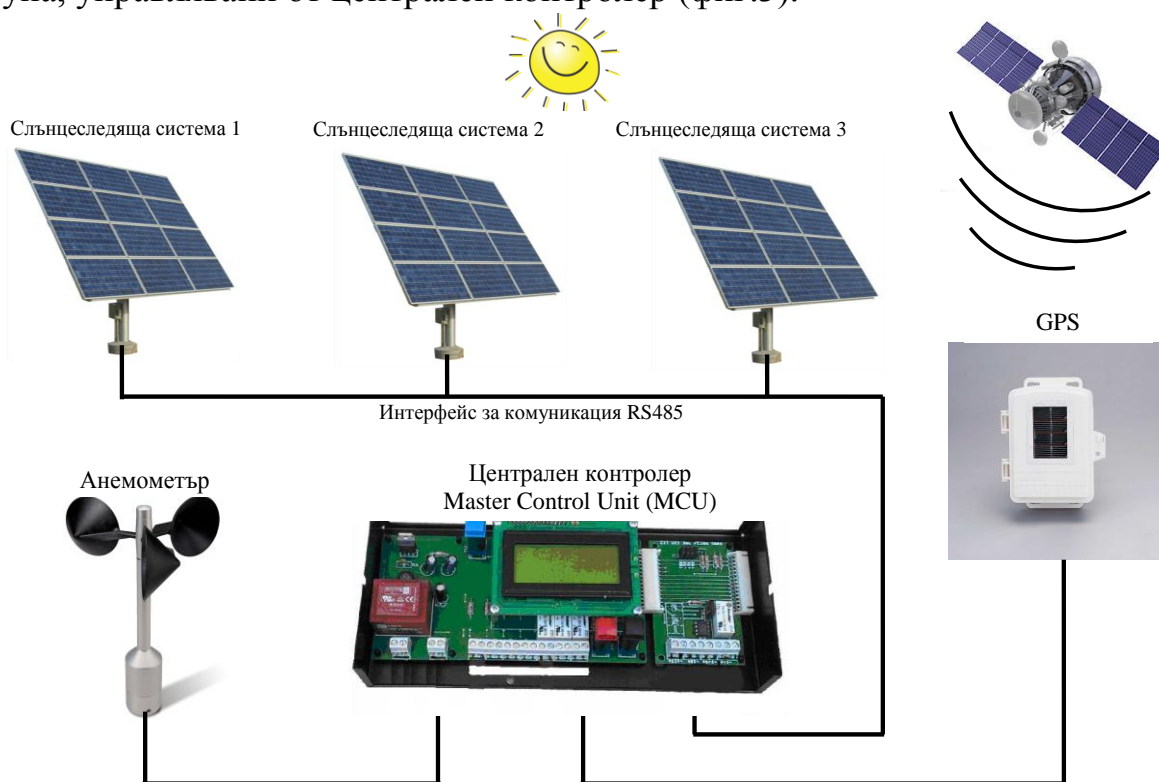
- Максимална площ на монтираните модули 20m²;
- Следене на слънцето по 2 оси
 - по хоризонталната (ъгъл на наклон) 0 - 80°;
 - по вертикалната (азимут) следене от 90 - 270° (изток - запад);
- Задвижване с два двигателя за постоянен ток;
- Захранване на контролера и двигателите – от акумулатор 12V, зареждан от адаптер, включен към мрежата 230V;
- Ориентация чрез изчисляване на положението на Слънцето по астрономическите уравнения при зададени географски координати и време;
- Възможност за настройка и управление на някои параметри от централен контролер – Master Control Unit;
- Анемометър за измерване на скоростта на вятъра;
- Използване на GPS модул.

Следящите системи са монтирани върху бетонни фундаменти, вкопани в земята с размери 1,5x1,5m, дълбочина 1,2m. Металната ферма се захваща към фундамента чрез нарязани шпилки, бетонирани във фундамента, и гайки. Едната страна на фермата е ориентирана на север, което осигурява правилна ориентация на тракера според астрономическите уравнения (фиг.1).



Фиг.1. Етапи от монтажа на тракерите.

Следящите системи могат да работят както самостоятелно – всяка от тях следи положението на слънцето според зададени час и географски координати, така и в група, управлявани от централен контролер (фиг.3).



Фиг.2. Свързване на Централния контролер с тракерите, GPS и анемометър.

Комуникацията между тях се осъществява посредством комуникационен интерфейс RS485 и протокол Modbus. Към централния контролер има свързано GPS устройство за автоматично определяне на географските координати на системата и универсалното време. С цел предпазване на фотоволтаичните панели и следящите системи от щети при буря, централният контролер следи скоростта на вятъра посредством свързан към него анемометър, разположен на нивото на слънцеследящите системи. Когато вятърът надвиши определена скорост, слънцеследящите платформи се позиционират в хоризонтално положение.

Реализираните ФВ инсталации използват панели от 5 различни технологии:

- монокристален силиций (mono-SI);
- поликристален силиций (poly-SI);
- микрокристален силиций (μ c-SI);
- медно-индиево-галиев селенид (CIGS);
- кадмиев телурид (CdTe).

Панелите са групирани последователно и в паралел така, че всеки от петте фотоволтаични генератори да е с мощност $\cong 1,2$ kW. По този начин могат да бъдат провеждани сравнителни изследвания между фотоволтаични панели от различни технологии. При изграждането на инсталацията е предвидена възможност при необходимост панелите да бъдат сменени с други за провеждане на дадено изследване. В табл.1 са показани обобщени данни за създадените ФВ генератори.

ри при стандартни тестови условия (STC: слънчева радиация $1000\text{W}/\text{m}^2$, температура на клетките 20°C), дадени от производителите на модулите.

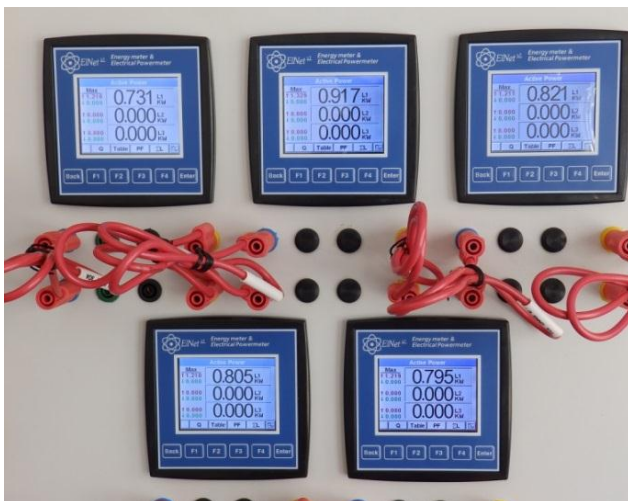
Таблица 1. Данни за фотоволтаичните генератори.

Технология	mono-Si	poly-Si	CIGS	CdTe	μc-Si
Напрежение на празен ход, V	185	186	284	269	299
Ток на късо съединение, A	8,61	8,72	4,95	6,15	6,90
Максимална мощност при STC, Wp	1200	1200	990	1125	1280
Ефективност при STC, %	14,81	14,63	11,70	10,42	9,01

Всеки ФВ генератор е свързан към електрическата мрежа с еднофазен инвертор тип Sunny Boy 1200. Инверторите имат комуникационен интерфейс RS485, по който се предава информация за стойностите на електрическите величини – ток, напрежение, мощност и др. Данните се събират централизирано от информационна система, показана на фиг.6.

Електрическите кабели от фотоволтаичните генератори и слънцеследящите системи са изведени през PVC тръби, положени в изкоп в земята от фундаментите до специално изградена за целта полумасивна постройка, в която се намира главното електрическо табло, петте инвертора и оборудвана със съответната измервателна апаратура и система за събиране на данни. До всяка една от слънцеследящите платформи достига и захранване от мрежата 230V, необходимо за нормалното функциониране на системата за управление и електродвигателите за придвижване по двете оси (фиг.5, фиг.6). Тракерите разполагат и с акумулаторни батерии, които дават възможност системата да продължи да следи движението на слънцето дори и при временно отпадане на мрежовото захранване.

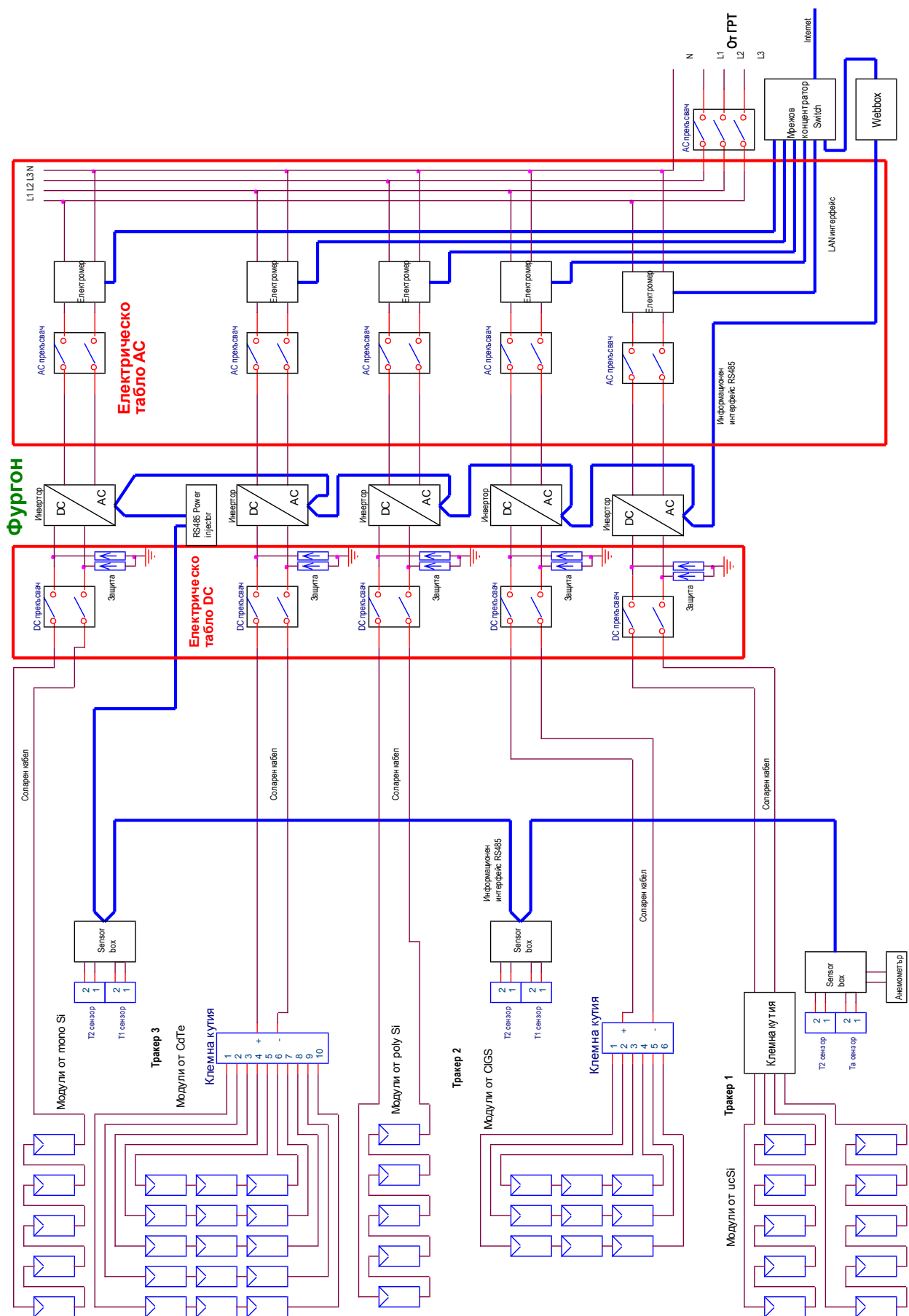
Енергията, произведена от фотоволтаичните генератори, се отдава в електрическата уредба на Технически Университет-София и се използва за собствена консумация. Измерва се посредством 5 електромера тип LNet, монтирани на специално изработено за целта табло (фиг.3) с изведени букси за включване на външни измервателни уреди към веригата на всяка една от фотоволтаичните инсталации.



Фиг.3. Табло с електромери LNet.



Фиг.4. Sunny Sensorbox.

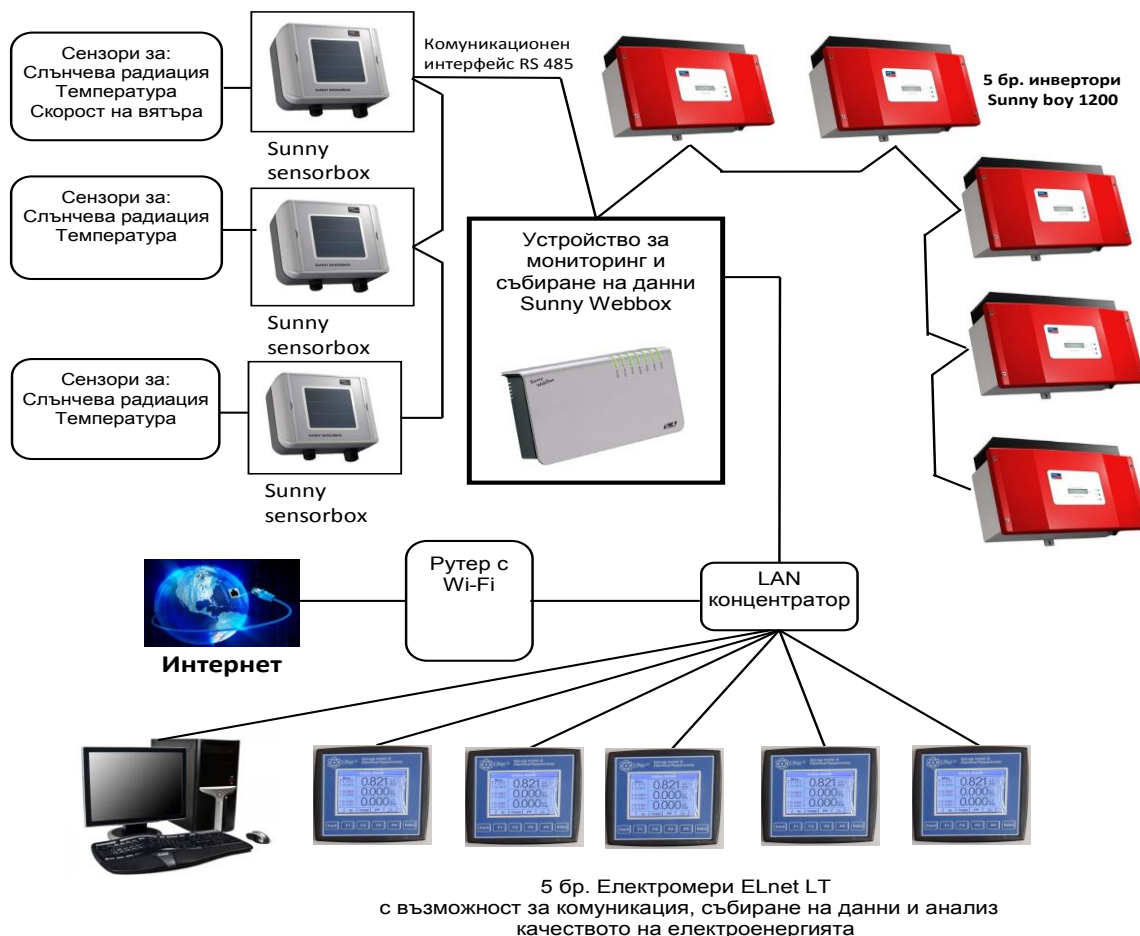


Фиг.5. Принципна схема на свързване на фотоволтаичните генератори и сензорите.

Електромерите имат възможност за анализ на качеството на електроенергията (хармоничен състав на изходните токове, фактор на мощността, максимални и минимални стойност и др.), както и за събиране на статистически данни за генерираната електроенергия. За централизирано събиране на данните електромерите са чрез LAN мрежа към компютър, който записва данните.

Електрическата схема на фотоволтаичните инсталации и връзката им с мрежата е представена на фиг.5.

За регистриране на околната температура, скоростта на вятъра, температурата на ФВ панели и на слънчевата радиация на всеки от трите тракера са монтирани сензори, свързани към Sunny Sensor box (фиг.4). Информацията се предава по интерфейс RS485 през кабелно трасе с дължина около 40m. Към същия интерфейс са свързани и инверторите. Данните се събират от специализирано устройство за събиране на данни Sunny Webbox, което е свързано чрез локална мрежа към персонален компютър (фиг.6). От компютъра с помощта на платформата Webbox през интернет браузър може да бъде осъществен отдалечен достъп до данните и настройките на инверторите (фиг.7). Обработката на получените данни може да се извършва Microsoft Excel, Matlab или друг софтуер за конкретните цели на дадено изследване. Данните се записват във формат “comma separated values” (*.csv).



Фиг.6. Структура на системата за събиране на данни.

Видът на слънцеследящите системи с монтирани върху тях фотоволтаични модули е показан на фиг.8.



Фиг.7. Мрежова платформа на системата за събиране на данни Sunny Webbox.



Фиг.8. Окончателен вид на слънцеследящите системи с монтирани ФВ модули.

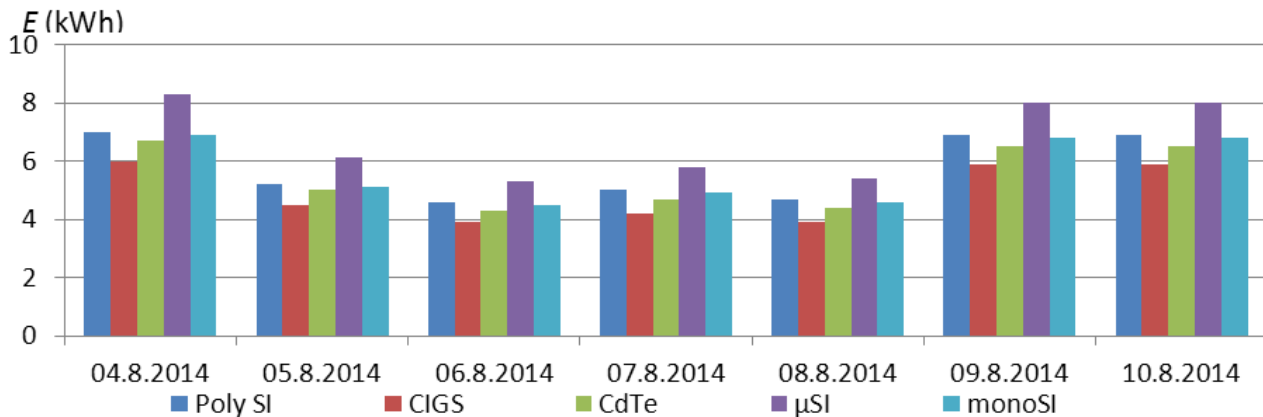
3. ПРИМЕРНИ РЕЗУЛТАТИ

Реализираната експериментална платформа със слънцеследящи системи дава възможност за широк спектър от сравнителни изследвания върху наличните фотоволтаични инсталации с модули, произведени по пет различни технологии, които бяха споменати по-горе. Събраните данни позволяват сравнение на производителността им при равни условия и еднакъв режим на работа на слънцеследящите системи (режим на фиксиран наклон, режим на фиксиран азимут и променлив наклон или в режим на слънцеследене по двете оси).

Произведената електроенергия от всяка инсталация за седем дни (от 04.09.2014 до 10.09.2014 включително) в режим на двuosно следене е представена на фиг.9. Впечатление прави фактът, че инсталацията с модули от микрокристален ($\mu\text{-Si}$) е произвела най-голямо количество електроенергия, въпреки най-ниското си

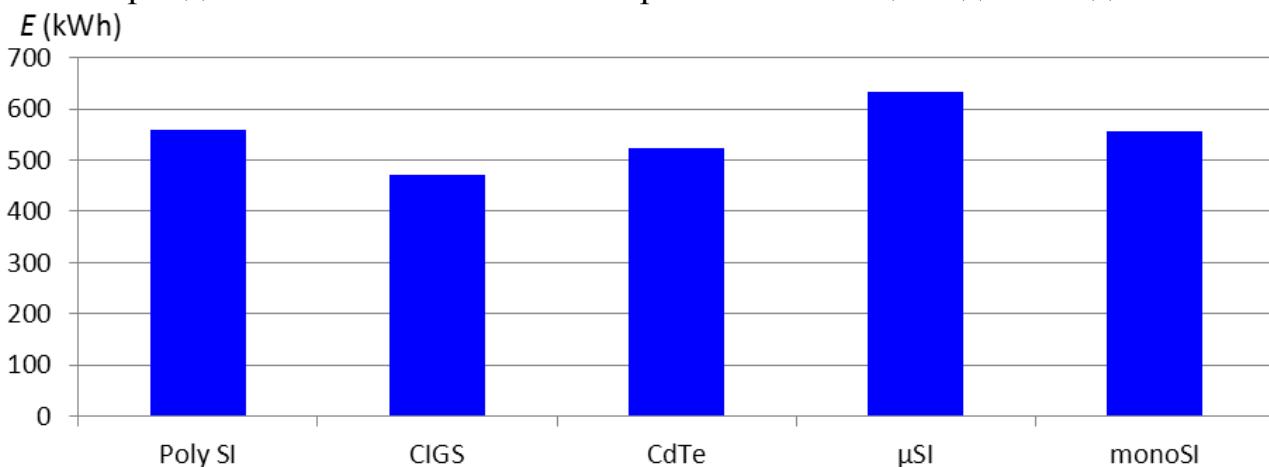
к.п.д. в сравнение с останалите (табл.1). Това би могло да се дължи отчасти на по-голямата чувствителност на тези модули спрямо дифузната слънчева радиация (при облачно време и в часовете около изгрев и залез слънце, както и на факта, че тази система е с малко по-голяма инсталирана мощност спрямо другите (1280W). За по-категорични изводи при сравнението на технологиите са необходими данни за по-продължителни периоди от време и различни метеорологични условия.

Генерираната електроенергия от всяка една от фотоволтаичните системи за периода от началото на месец юни до началото на месец септември 2014г. е представена на фиг.10.



Фиг.9. Произведена електроенергия

в периода 04.08.2014 – 10.08.2014 в режим на слънцеследене по две оси.



Фиг.10. Обща произведена електроенергия от началото на месец юни до началото на септември 2014 г.

Общо генерираната и отдадена в мрежата електроенергия за периода възлиза на 2740 kWh.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията е представена експериментална платформа за изследване на фотоволтаици, реализирана от авторите. Платформата се състои от три слънцеследящи системи с монтирани върху тях пет фотоволтаични инсталации от наличните в момента технологии. Реализираните инсталации са с близки максимални мощности и еднакви инвертори, което позволява сравнително изследване на различ-

ните технологии фотоволтаични панели при идентични условия и различни положения на панелите:

- Режим на слънцеследене;
- Режим на фиксиран ъгъл към земната повърхност и зададен азимут.

Реализираната експериментална платформа за изследване на фотоволтаични генератори съдържа и система за събиране на данни за произведената електроенергия, както и моментните стойности на мощността, напреженията, токовете и температурата на клетките на всяка инсталация, както и данни за околната температура, слънчевата радиация и скоростта на вятъра.

Платформата предоставя големи възможности за сравнителни и качествени изследвания на фотоволтаични системи и техните елементи както в режим на свързване с електрическа мрежа, така и в автономен режим. Освен това има и възможности за бъдещи усъвършенствания и доразвитие.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите благодарят на Национален фонд “Научни изследвания” за финансовата подкрепа по договор ДУНК 01/3 “Университетски научно-изследователски комплекс”.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Vilela O.C., Fraidenraich, N. and Tiba C. (2003). *Photovoltaic pumping systems driven by tracking collectors: experiments and simulation*. Solar Energy, vol. 74, 2003, pp. 45-52
- [2] Abdallah S. (2004). *The effect of using sun tracking systems on the voltage-current characteristics and power generation of flat plate photovoltaics*. Energy Conversion Management vol. 45, 2004, pp. 1671-1679
- [3] Karimov K.S., Chattha, J.A. and Ahmed, M.M. (2002). *Investigations of parameters and characteristics of solar modules at different conditions*. Journal Academy Sciences of Tajikistan vol. 9, 2002, pp.75-83
- [4] Clifford M.J. and Eastwood, D. (2004). *Design of a novel passive solar tracker*. Solar Energy vol. 77, 2004, pp. 269-280
- [5] Mousazadeh H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K. and Sharifi, A. (2009). *A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output*. Renewable and sustainable energy reviews, vol. 13, issue 8, 2009, pp. 1800-1818
- [6] Notton G., S.Diaf (2014). *Available solar energy for flat-plate solar collectors mounted on a fixed or tracking structure*. International Journal of Green Energy, under press
- [7] Lorenzo E., Perez, M., Ezepeleta, A. and Acedo J. (2002). *Design of tracking photovoltaic systems with a single vertical axis*. Progress in Photovoltaics vol. 10, 2002, pp. 533-543

Автори: Захари Зарков, доц. д-р, кат. „Електрически машини“, ТУ- София, E-mail adress: zzza@tu-sofia.bg; Людмил Стоянов, гл. ас. д-р, кат. „Електрически машини“, ТУ- София, E-mail adress: ludiss@tu-sofia.bg; Владимир Лазаров, проф. д-р, кат. „Електрически машини“, ТУ-София, E-mail adress: vl_lazarov@tu-sofia.bg; Християн Кънчев, ас. д-р, кат. „Електрически машини“, ТУ-София, E-mail adress: hkanchev@tu-sofia.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Рад Станев

ВЛИЯНИЕ НА ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕТО ВЪРХУ КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ

Светлана Цветкова, Николай Стоманярски, Ангел Петлешков

Резюме: В доклада са дадени резултати от изследване на влиянието на електрообзавеждането върху показателите за качество на електрическата енергия, което се използва при най-разпространените задвижвания с трифазни асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор. Изследвана е работата на двигателя с честотен преобразувател и със софтстартер. Направен е анализ и сравнение на получените резултати за показателите за качество на електрическата енергия със съответните нормативни документи.

Ключови думи: качество на електрическата енергия, честотен преобразувател, софтстартер.

INFLUENCE OF ELECTRICAL EQUIPMENT ON ELECTRICAL ENERGY QUALITY

Svetlana Tzvetkova, Nikolai Stomaniarski, Angel Petleshkov

Abstract: The frequency converters are used today in the most widespread drives with three phase squirrel-cage induction motors. Results from study of the influence of electrical equipment on electrical energy quality indexes are given. The work of the motor with frequency converter and soft starter is studied. The obtained results for electrical energy quality indexes are analyzed and compared with normative documents.

Keywords: electrical energy quality, frequency converter, soft starter.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

С оглед на ефективното използване на електрическата енергия е желателно мрежовото променливо напрежение да се променя с постоянна честота, да има синусоидална форма и постоянна големина. Един от основните фактори влияещи върху изменението на тези характеристики са самите консуматори. В този смисъл консуматорите на електрическа енергия са важен партньор заедно с електроснабдителната компания, в усилията да се поддържа качеството на електрическата енергия. За оценка на влиянието на дадени консуматори върху качеството на електрическата енергия е необходимо провеждане на експериментални изследвания [1].

Най-разпространеният начин за управление на скоростта на електрическите двигатели, а от там и на производителността на задвижваните производствени

механизми е с използване на съвременни честотни преобразуватели. В най-простия случай съотношението между напрежението и честотата се поддържа постоянно. По този начин се осигурява необходимият момент на вала на двигателя без да се стига до прегряване. Изходната честота не зависи от честотата на мрежата и може да бъде както по-голяма, така и по-малка от нея. Скоростта на двигателя може да се регулира както под синхронната, така и над нея. Честотата и напрежението не са ограничени и асинхронния двигател може да се пуска и ускорява от неподвижно състояние.

Честотният преобразувател се състои от неуправляем токоизправител, постояннотоково звено и инвертор, т.е. има налични полупроводникови елементи с нелинейна V-A характеристика, които могат в някаква степен да влошат качеството на напрежението и по такъв начин да влияят и на останалите консуматори. Софтстартерите са електронни устройства, които осигуряват плавно пускане и спиране на асинхронни двигатели с понижено напрежение.

В доклада са дадени резултати от изследване на влиянието на честотен преобразувател върху показателите за качество на електрическата енергия, който се използва при най-разпространените задвижвания с трифазни асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор. Изследвана е и работата на двигателя със софтстартер. Направен е анализ и сравнение на получените резултати за показателите за качество на електрическата енергия със съответните нормативни документи [2, 3].

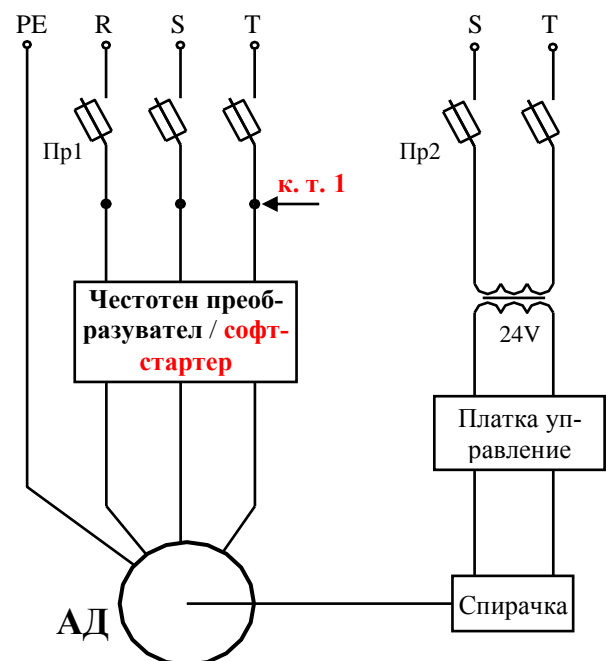
2. ХАРАКТЕРИСТИКА НА ОБЕКТА НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Изследва се работата на асинхронен двигател с честотен преобразувател и със софтстартер. На фиг.1 е показана схема на опитната постановка.

Номиналните параметри на трифазния асинхронен двигател с накъсосъединен ротор са: тип АО90s-4; $P_H=1,1kW$; $f=50Hz$; свързване Δ/Y ; $U_H=220/380V$; $I_H=4,9/2,8A$; $n_H=1410min^{-1}$; $\cos\varphi=0,80$; S1; IP44; 18 kg.

Използваният честотен преобразувател е производство на Danfoss тип VLT HVAC Drive с номинални данни дадени в табл.1.

Номиналните данни на софтстартера производство на Danfoss са: $U_H=400-415V$ 50/60Hz; $I_H=\max 3,5A$ AC; $U_y=24-415V$ AC/DC.



Фиг.1. Схема на опитната постановка

За натоварване на двигателя се използва електромагнитна спиралка тип P35 със следните данни:

$U_{\text{захр}}=110-230\text{V}$ АС, $f=50/60\text{Hz}$,
 $U_{\text{изх}}=24\text{V}$ АС/DC $\pm 10\%$, входен сигнал
 0-10V от потенциометър $10\text{k}\Omega$, изходен
 сигнал 0-2A, консумирана мощност
 30W, чувствителност 10mV .

Таблица 1

	U_H, V	f, Hz	I_H, A
Входни параметри	3x380AC - 480V	50/60	2,7/2,6
Изходни параметри	3x0AC ÷ U_H	0÷590	3/2,7
$P_H=1,1\text{kW}(400\text{V})/1,5\text{HP}(460\text{V}), \text{IP20}$			

3. ИЗСЛЕДВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ

Целта е да се оцени влиянието на честотен преобразувател за управление на асинхронен двигател с накъсосъединен ротор върху показателите за качество на електрическата енергия. Проведени са две изследвания: с честотен преобразувател и със софтвер. И двете измервания се провеждат при 80% натоварване на двигателя с помощта на електромагнитната спирачка. За целта спирачката се захранва с напрежение 4V.

Измерванията са проведени с трифазен анализатор на качеството на електрическата енергия QUALISTAR C.A 8332. Захранващата мрежа е трифазна, трипроводна. Периодът на измерване е 1 минута, с интервал от време за осредняване на измерванията от 1s или за всеки от изследваните параметри са получени 60 стойности. Получената информация от измерванията е обработена с DataView Professional и Qualistar Viewer V2.

За определяне на показателите за качество на електрическата енергия се използват следните формули [1, 4]:

- отклонение на честотата

$$\Delta f = f - f_H \quad (1)$$

където: f - текуща стойност на честотата; f_H - номинална честота.

- отклонение на напрежението

$$\Delta U = \frac{U - U_H}{U_H} 100\% \quad (2)$$

където: U - текуща стойност на напрежението; U_H - номинално напрежение.

- колебание на напрежението

$$\delta U = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_H} 100 \quad (3)$$

където U_{\max} и U_{\min} са два съседни екстремума на ефективната стойност на напрежението.

- коефициент на хармоника на напрежението k_{U_v} и на тока k_{I_v}

$$k_{U_v} = \frac{U_v}{U_1} 100, \%, \quad k_{I_v} = \frac{I_v}{I_1} 100, \%, \quad (4)$$

където: U_v, I_v - ефективни стойности на хармониците на напрежението и тока; U_1, I_1 - ефективни стойности на основните хармоници на напрежението и тока.

- общо хармонично изкривяване (THD) на напрежението и на тока

$$THD_U = \sqrt{\sum_{v=2}^{40} U_v^2}, \quad THD_I = \sqrt{\sum_{v=2}^{40} I_v^2}, \quad (5)$$

3.1. Изследване на показателите за качество на електрическата енергия при работа на двигателя с честотен преобразувател

За контролна точка за провеждане на измерванията е избрана к. т. 1, намираща се на входа на честотния преобразувател (фиг. 1), като по този начин може да се оцени влиянието му върху показателите за качество на електрическата енергия и върху работата на другите консуматори.

- *Честота на захранващото напрежение*

Максималната стойност на честотата на захранващото напрежение за периода на измерване е 50.01 Hz, минималната стойност е 49.99 Hz, а средната стойност е 50.00 Hz. В 100% от случаите честотата на захранващото напрежение е в допустимите норми от 49,5÷50,5Hz за 99,5% от годишен период или 47÷52Hz целогодишно, регламентирани в стандарта БДС EN 50160, чрез който регулаторните органи следят за качеството на електрическата енергия.

- *Захранващо напрежение*

В табл.2 са дадени минималната, максималната и средната ефективни стойности на фазните и на линейните напрежения за периода на измерване.

Максималното отклонение на фазното напрежение е: $L_1=2,22\%$, $L_2=2\%$, $L_3=2,34\%$, а на линейното напрежение- $L_{12}=1,38\%$, $L_{23}=1,95\%$, $L_{13}=2,0\%$.

От данните се вижда, че стойностите на фазните и линейните напрежения за 100% от периода на измерване са в допустимия диапазон от $\pm 10\%U_n$ (от 207 до 253 V и от 360 до 440 V), регламентиран в БДС EN 50160.

Краткотрайни спадания и пренапрежения на захранващото напрежение не се наблюдават.

За оценка на краткотрайните изменения се използва стойността на фликера. В табл.3 са дадени минималната, максималната и средната стойност на фликера за

Таблица 2. Стойности на фазните и на линейните напрежения

Величина	Фаза	Стойност		
		минимална	максимална	средна
фазно напрежение, V	L ₁	234,8	235,1	234,9
	L ₂	234,1	234,6	234,3
	L ₃	235,0	235,4	235,1
линейно напрежение, V	L ₁₂	404,7	405,5	405,1
	L ₂₃	406,9	407,8	407,1
	L ₁₃	407,3	408,0	407,6

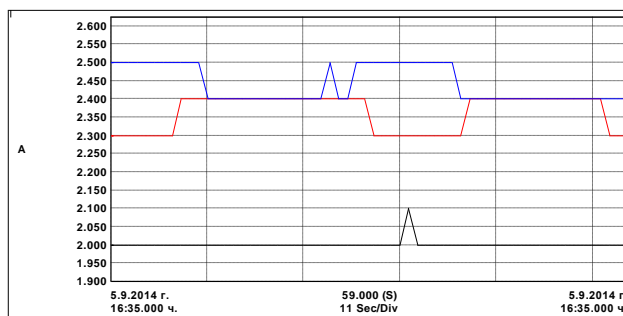
Таблица 3. Стойности на фликера

Фликер	Фаза	Стойност		
		минимална	максимална	средна
при 50Hz	L ₁	0,15	0,56	0,55
	L ₂	0,15	0,52	0,51
	L ₃	0,04	0,44	0,43
при 45Hz	L ₁	0,59	0,60	0,59
	L ₂	0,58	0,61	0,60
	L ₃	0,57	0,59	0,57
при 40Hz	L ₁	0,54	0,57	0,55
	L ₂	0,55	0,57	0,56
	L ₃	0,48	0,51	0,49
при 35Hz	L ₁	0,46	0,53	0,46
	L ₂	0,47	0,48	0,47
	L ₃	0,47	0,52	0,47

всяка фаза, при различни честоти, на които работи честотния преобразувател - 50Hz, 45Hz, 40Hz и 35Hz. Вижда се, че в 100% от случаите стойността на фликера и за трите фази е в допустимата норма - не надвишава 1.

- *Токове*

На фиг.2 е показано изменението на тока в трите фази. Натоварванията на отделните фази са: за L_1 между 2,0 и 2,1А; за L_2 между 2,3 и 2,4А; за L_3 между 2,4 и 2,5А. Средното натоварване за L_1 е 2,0А, за L_2 е 2,36А и за L_3 е 2,44А.



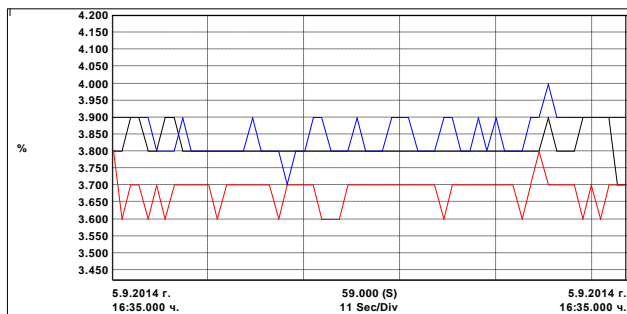
Фиг.2. Стойности на фазните токове

- *Несиметрия*

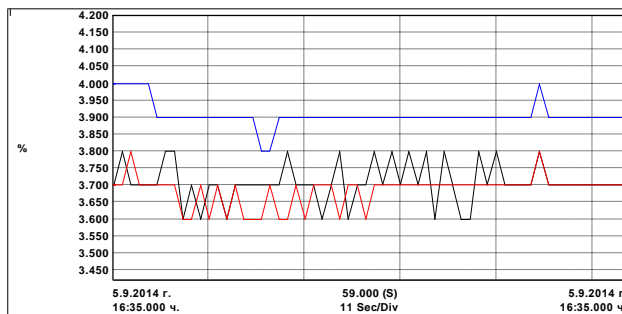
За несиметрията на напрежението са измерени минимална и средна стойност от 0,2% и максимална стойност от 0,3%. Измерената максималната стойност от 0,3% е под допустимите 2% в 100% от времето на измерване.

За несиметрията на токовете са измерени минимална от 8,7%, средна от 11,78% и максимална стойност от 13%. Несиметрията на токовете се дължи на работата на честотното управление, което е нормално за тези задвижвания.

- *Висши хармоници на тока и напрежението*



Фиг.3. THD на фазните напрежения



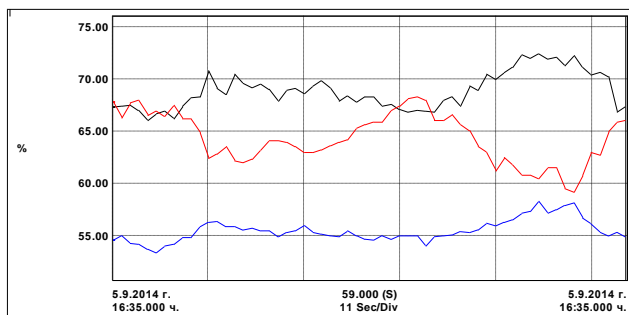
Фиг.4. THD на линейните напрежения

На фиг.3 и фиг.4 е показано общото хармонично изкривяване, съответно на фазните и на линейните напрежения, в %. Максималните стойности на общото хармонично изкривяване, както на фазните напрежения (за L_1 е 3,9%, за L_2 е 3,8% и за L_3 е 4,0%), така и на линейните напрежения (за L_{12} и L_{13} е 3,8%, за L_{23} е 4,0%) отговарят на нормите дадени в БДС EN 50160, който регламентира големината на общото хармонично изкривяване на захранващото напрежение да не превишава 8%.

На фиг.5 е показано общото хармонично изкривяване на токовете, а в табл.4 измерените минимални, максимални и средни стойности.

В 100% измерените стойности на общото хармонично изкривяване на токовете са по-високи от допустимата стойност от 25% дадена в БДС IEC 61000-3-4 [3].

В табл.5 са дадени максималните измерени стойности на хармониците на напрежението. Наблюдават 3, 5, 7, 9, 11 и 13 хармоник. Всички те са много по-ниски от допустимите норми дадени в БДС EN 50160. От четните хармоници на напрежението се наблюдава само 12 хармоник с максимална стойност от 0,1%, която е по-ниска от допустимата норма от 0,2%.



Фиг. 5. THD на токовете

Таблица 4. Стойности на THD на токовете

Величина	Фаза	Стойност		
		минимална	максимална	средна
THD ₁ , %	L ₁	66,0	72,4	68,9
	L ₂	59,2	68,3	64,3
	L ₃	53,4	58,3	55,5

Таблица 5. Коефициенти на хармониците на напрежението

Хармоник	Допустима стойност по БДС EN 50160, %	Максимална измерена стойност, %		
		L ₁₂	L ₂₃	L ₁₃
3	5,0	0,2	0,5	0,6
5	6,0	3,8	3,7	3,9
7	5,0	0,7	0,8	0,8
9	1,5	0,2	0,1	0,1
11	3,5	0,5	0,5	0,5
13	3,0	0,2	0,2	0,2

Таблица 6. Коефициенти на хармониците на тока

Хармоник	Допустима стойност по БДС EN 61000-3-4, %	Максимална измерена стойност, %		
		L ₁	L ₂	L ₃
3	21,6	12,9	18,4	17,7
5	20,7	56,6	54,0	45,3
7	7,2	39,7	35,5	30,3
9	3,8	3,2	3,5	2,3
11	3,1	10,4	7,4	6,4
13	2,0	10,9	8,9	6,6
15	0,7	2,3	2,4	1,3
17	1,2	6,8	4,6	4,3
19	1,1	6,5	4,6	3,7
21	0,6	3,0	2,7	2,0
23	0,9	5,2	3,5	3,0
25	0,8	4,9	3,5	2,8

Получените експериментални резултати за хармониците на тока са обработени и систематизирани в табл.6 и табл.7, като е направено и сравнение със съществуващите стандарти [2, 3]. Налични са всички нечетни хармоници на тока до 25 хармоник. Всички измерени максимални стойности на хармониците на тока, с изключение на 3 и 9 хармоник са значително по-високи от регламентираните допустими стойности в БДС IEC 61000-3-4.

В табл.7 са дадени стойностите на четните хармоници на тока отчетени за целия измервателен период, като са сравнени с допустимите стойности по БДС IEC 61000-3-4. Наблюдават се 2, 4, 6, 8 и 10 хармоник, като всички измерени стойности са под допустимата норма.

- *Фактор на мощността*

Достигнатите максимални стой-

ности на фактора на мощността са: за L₁ – 0,834, за L₂ – 0,849, за L₃ – 0,869. Средните стойности са: за L₁ – 0,823, за L₂ – 0,829, за L₃ – 0,862. Тези стойности са съответно с 4,25% за L₁, с 6,12% за L₂, и с 8,63% за L₃, по-големи от номиналния фактор на мощността 0,8.

Таблица 7. Стойности на четните хармоници на тока

Хармоник	Максимална, %	Допустима, %
2	3,3	4,0
4	1,8	2,0
6	1,2	1,3
8	0,9	1,0
10	0,5	0,6

Средните стойности на фактора на мощността при несинусоиден режим са: за $L_1 - 0,989$, за $L_2 - 0,982$, за $L_3 - 0,999$.

3.2. Изследване на показателите за качество на електрическата енергия при работа на двигателя със софтстартер

За контролна точка за провеждане на измерванията е избрана отново к. т. 1, намираща се на входа на софтстартера (фиг.1). В случая честотното управление на двигателя е заменено със софтстартер.

- *Честота на захранващото напрежение*

Максималната стойност на честотата на захранващото напрежение за периода на измерване е 50.02 Hz, минималната е 49.99 Hz, а средната - 50.00 Hz, т.е. в 100% от случаите е в допустимите норми.

- *Захранващо напрежение*

В табл.8 са дадени минималната, максималната и средната ефективни стойности на фазните и на линейните напрежения за периода на измерване.

Максималното отклонение на фазното напрежение е $L_1=1,52\%$, $L_2=L_3=1,48\%$, а на линейното напрежение е $L_{12}=0,83\%$, $L_{23}=L_{13}=1,43\%$. Вижда се, че за 100% от периода на измерване всички измерени стойности на фазните и линейните напрежения са в допустимия диапазон от $\pm 10\%U_n$ [2].

Краткотрайни спадания и пренапрежения на захранващото напрежение не се наблюдават.

В табл.9 са дадени минималната, максималната и средната стойност на фликера за всяка фаза. В 100% от случаите стойността на фликера и за трите фази е в допустимата норма - не надвишава 1.

- *Токове*

Натоварванията на отделните фази са: за фаза $L_1 - 2,4A$; за фаза $L_2 - 2,5A$; за фаза $L_3 - 2,6A$.

- *Несиметрия*

Измерената стойност на несиметрията на напрежението е 0,3% и е под допустимата стойност от 2% в 100% от времето на измерване. Измерената стойност на несиметрията на токовете е 4%.

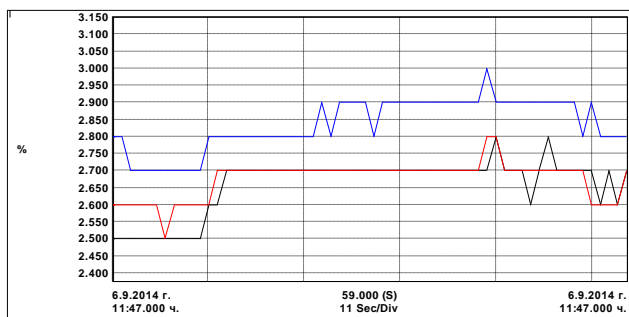
- *Висши хармоници на тока и напрежението*

Таблица 8. Стойности на фазните и на линейните напрежения

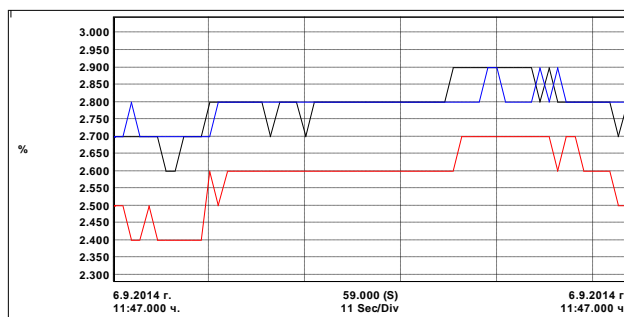
Величина	Фаза	Стойност		
		минимална	максимална	средна
фазно напрежение, V	L_1	233,0	233,5	233,3
	L_2	233,1	233,4	233,2
	L_3	234,0	234,4	234,3
линейно напрежение, V	L_{12}	402,7	403,3	403,0
	L_{23}	405,1	405,7	405,4
	L_{13}	404,7	405,7	405,3

Таблица 9. Стойности на фликера

Величина	Фаза	Стойност		
		минимална	максимална	средна
фликер	L_1	0,17	0,19	0,18
	L_2	0,19	0,19	0,19
	L_3	0,18	0,19	0,19



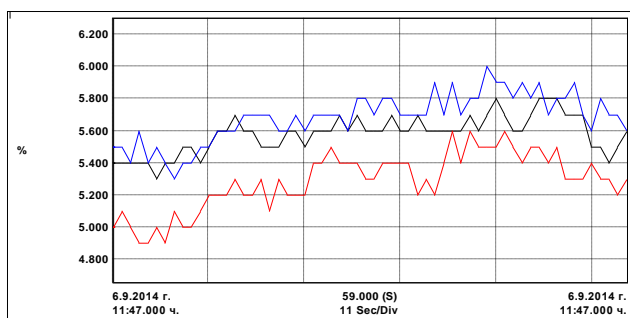
Фиг.6. THD на фазните напрежения



Фиг.7. THD на линейните напрежения

На фиг.6 и фиг.7 е показано общото хармонично изкривяване, съответно на фазните и на линейните напрежения, в %. Максималните стойности на общото хармонично изкривяване, както на фазните напрежения (за L_1 и за L_3 – 2,9%, за L_2 – 2,7%), така и на линейните напрежения (за L_{12} и за L_{23} – 2,8%, за L_{13} – 3,0%) отговарят на нормите дадени в БДС EN 50160 - не се превишава допустимата норма от 8%.

На фиг.8 е показано общото хармонично изкривяване на токовете в трите фази. В табл.10 са дадени измерените минимални, максимални и средни стойности на общото хармонично изкривяване на фазните токове. В 100% измерените стойности на общото хармонично изкривяване на токовете са под допустимата стойност от 25% дадена в БДС IEC 61000-3-4 [3].



Фиг.8. THD на токовете

Таблица 10. Стойности на THD на токовете

Величина	Фаза	Стойност		
		минимална	максимална	средна
Athd, %	L_1	5,3	5,8	5,58
	L_2	4,9	5,6	5,29
	L_3	5,3	6,0	5,68

В табл.11 са дадени максималните измерени стойности на хармониците на напрежението. Наблюдават се 3, 5, 7, 9, 11, 13 и 17 хармоник. Всички те са много по-ниски от допустимите норми дадени в БДС EN 50160. Четни хармоници на напрежението не се наблюдават.

Измерените хармоници на тока са дадени в табл.12, като е направено и сравнение със съществуващите стандарти [2, 3]. От нечетните хармоници на тока са измерени стойности на 3, 5, 7, 11 и 13 хармоник, които са значително по-ниски от регламентираните допустими стойности в БДС IEC 61000-3-4. От четните хармоници на тока се наблюдава само 2 хармоник с максимална стойност от 0,8%, която е много по-ниска от допустимата норма от 4% дадена в БДС IEC61000-3-4[3].

- *Фактор на мощността*

Достигнатите максимални стойности на фактора на мощността са съответно: за L_1 – 0,671, за L_2 – 0,630, за L_3 – 0,664.

Таблица 11. Коефициенти на хармониците на напрежението

Хармоник	Допустима стойност по БДС EN 50160, %	Максимална измерена стойност, %		
		L ₁₂	L ₂₃	L ₁₃
3	5,0	0,2	0	0,6
5	6,0	2,7	2,7	2,9
7	5,0	0,6	0,5	0,6
9	1,5	0,1	0,1	0
11	3,5	0,6	0,5	0,5
13	3,0	0,4	0,4	0,3
17	2,0	0,1	0,1	0,1

Таблица 12. Коефициенти на хармониците на тока

Хармоник	Допустима стойност по 61000-3-4, %	Максимална измерена стойност, %		
		L ₁	L ₂	L ₃
2	4,0	0,8	0,6	0,6
3	21,6	1,3	0,8	1,7
5	20,7	5,7	5,5	5,8
7	7,2	0,7	0,6	0,6
11	3,1	0,6	0,6	0,5
13	2,0	0,4	0,4	0

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

След анализ и оценка на резултатите от двете измервания могат да се направят следните изводи:

- И при двете проведени измервания, измерените стойности на фазните и линейните напрежения са в допустимите норми от $\pm 10\% U_N$;

- При използване на честотен преобразувател е измерена средна стойност на фликера от 0,56, а на софтвертер – от 0,19. Стойностите на фликера са по-малки от допустимата стойност 1, но се наблюдава близо 3 пъти увеличаване на стойността на фликера при използване на честотен преобразувател. Причината може да се търси в работата на самия честотен преобразувател;

- От резултатите е видно, че измерените токове, при работа на двигателя с честотен преобразувател са средно с 9,5% по-малки от токовете при работа на двигателя със софтвертер. При втория случай несиметрията на токовете от 4% е много по-малка от първия случай – с честотен преобразувател от 11,78%;

- И при двете измервания максималната стойност на несиметрията на напрежението е 0,3%, и е много по-ниска от допустимата стойност от 2%;

- При използване на честотен преобразувател за управление на двигателя средната стойност на общото хармонично изкривяване на напрежението е 3,87%, а със софтвертер – 2,87%. И в двата случая общото хармонично изкривяване е много под допустимата стойност от 8%;

- Средната стойност на общото хармонично изкривяване на тока при наличие на честотен преобразувател е 62,9% (много по-висока от допустимата стойност от 25%), а със софтвертер е 5,52% (в нормата). Следователно използването на честотен преобразувател в случая води до повече от 11 пъти по-високи нива на общото хармонично изкривяване, в сравнение с работа на задвижването със софтвертер;

- При работа с честотен преобразувател са измерени 3, 5, 7, 9, 11 и 13 хармоник на напрежението, а от четните само 2 хармоник. При работа със софтвертер са измерени 3, 5, 7, 11, 13 и 17 хармоник, а четни хармоници не се наблюдават. Всички измерени хармоници са в допустимите норми, като нивото на 5 хармоник е с 1% по-ниско при работа на двигателя със софтвертер;

- При работа с честотен преобразувател са налични всички нечетни хармоници на тока - от 3 до 25 хармоник, като само 3 и 9 хармоник са в допустимата норма. От четните хармоници на тока са измерени стойности на 2, 4, 6, 8 и 10, като всички са в допустимите норми. При работа със софтвер са измерени 3, 5, 7, 11 и 13 хармоник на тока, а от четните само 2 хармоник, като всички измерени хармоници са много по-малки от допустимите норми;

- Реактивната мощност при работа на двигателя с честотно управление е само 89,8kVAr, а без него е значителна – 1332,9kVAr. В резултат на това, средния фактор на мощността при работа с честотен преобразувател е 0,838, а със софтвер е 0,655. В първия случай двигателя работи средно с около 22% висок фактор на мощността.

Може да се обобщи, че използването на честотно управление влияе върху някои от показателите за качество на електрическата енергия – несиметрия, несинусоидалност, фликер.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследванията в тази публикация са проведени благодарение на подкрепата на НИС при ТУ-София, договор № 141ПД0055-01.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Цанев Ц., С. Цветкова, *Качество на електрическата енергия*, Авангард Прима, София, 2011.

[2] БДС EN 50160 *Характеристика на напрежението на електрическата енергия доставяна от обществените разпределителни електрически системи*, 2006.

[3] БДС IEC 61000-3-4 *Електромагнитна съвместимост. Част 3-4 Граници – ограничаване на емисиите на хармоничните токове в слаботокови системи, захранване на оборудване, с номинален ток над 16А*, 1998.

[4] Василев Н., С. Сидеров, *Електроснабдяване на промишлени предприятия*, Техника, София, 1991.

Автори: Светлана Цветкова, доц. д-р, катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, Е-mail adress: stzvet@tu-sofia.bg; Николай Стоманиярски, маг. инж., катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, Е-mail adress: nstomaniarski@tu-sofia.bg; Ангел Петлешков, гл. ас., катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, Е-mail adress: apetl@tu-sofia.bg.

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Николай Матанов

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ

Ангел Петлешков, Николай Стоманярски,
Светлана Цветкова, Ваня Петрова

Резюме: В доклада са дадени резултати от изследване на ефективността на електрозадвижвания на асинхронен двигател. Направен е сравнителен анализ между асинхронен двигател управляван с честотно управление и асинхронен двигател управляван със софтвер при различни натоварвания на двигателя. Направени са изводи за ефективността на честотното управление и софтвера.

Ключови думи: енергийна ефективност, честотно управление, софтвер.

STUDY OF EFFECTIVENESS OF ELECTRIC DRIVES OF INDUCTION MOTOR

Angel Petleshkov, Nikolai Stomaniarski, Svetlana Tzvetkova, Vania Petrova

Abstract: The report gives results of a study of the effectiveness of electric drive of induction motor. A comparative analysis of the induction motor driven by frequency controlled and induction motor soft starter running at different engine loads. Conclusions are made about the effectiveness of adjustable speed drive and soft starter.

Keywords: energy efficiency, adjustable speed drive, soft starter.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Все повече се обръща внимание на повишаване на ефективността на електрообзавеждането и намаляване на консумацията на електрическа енергия. Намаляването на консумацията на електрическа енергия води до намаляване технологичните разходи.

Проучванията показват, че около 65% от електрическата енергия в промишлеността се изразходва от асинхронни задвижвания, работещи с постоянни обороти. Използването на честотните преобразуватели би могло да доведе до енергоспестяване, повишаване на рентабилността и конкурентоспособността, както и до подобряване на екологията. В момента пазарният дял на честотните преобразуватели в световен мащаб се оценява на около 3 млрд. долара и се очаква ежегоден ръст от около 5,8%. Роля в увеличаването на пазарния дял на честотните преобразуватели имат и достиженията на компютърната и микропроце-

сорна техника, които доведоха до разработването на интелигентни системи за управление.

Чрез използването на честотно управление, което изменя скоростта на двигателя, а от там и производителността може да се повиши ефективността и да се намалят разходите за електрическа енергия. Честотните задвижвания намаляват консумацията на електрическа енергия, подобряват експлоатационните характеристики и удължават живота на устройствата и системите, в които са вградени. Когато трифазен асинхронен електрически двигател работи с честотен преобразувател, той се захранва с променлива честота и напрежение. Зависимостта между честотата (оборотите) на електрическия двигател и напрежението му се описва с U/f графика. Алгоритъмът $U/f=\text{const}$ е характерен за вентилаторен тип регулиране. Вследствие на все по-високите изисквания към съвременните електрозадвижвания, претърпя развитие и технологията на управлението им. Предлаганите в момента евтини трифазни асинхронни двигатели отговарят с известни условия на високите изисквания към управлението им [1].

Софтстартерите представляват съвременни електронни устройства за плавно пускане и спиране на асинхронни двигатели с понижено напрежение. Някои от предлаганите устройства се отличават с голяма гъвкавост на управлението и поддържат редица защитни функции. Основните им предимства са:

- елементарно и гъвкаво управление на пусковия ток и пусковия момент;
- плавно управление на напрежението и тока, без превключвания и пикове;
- възможност за осигуряване на чести пускания и ефективно регулиране при променливи условия на пуск.

В доклада са дадени резултати от изследването на електрозадвижването на трифазен асинхронен двигател с накъсосоединен ротор. Разгледани са различни начини за управление, а именно с честотен регулатор (при различни честоти на захранващото напрежение) и със софтстартер при различни натоварвания.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА НА ОБЕКТА НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Изследваният обект е трифазен асинхронен двигател с накъсосоединен ротор със следните номинални данни [2]:

тип АО90s-4; $P_H=1,1\text{kW}$; $f=50\text{Hz}$; свързване Δ/Y ; $U_H=220/380\text{V}$; $I_H=4,9/2,8\text{A}$; $n_H=1410\text{min}^{-1}$; $\cos\varphi=0,80$; S1; IP44; БДС 5872-66, 18 kg.

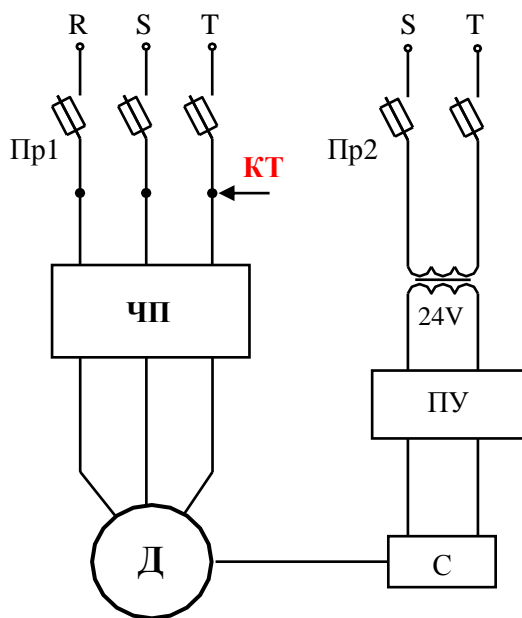
За управлението му се използва:

- честотен преобразувател на Danfoss тип VLT HVAC Drive за двигател с мощност $1,1\text{kW}$ (400V) / $1,5\text{Hp}$ (460V). Входни параметри: $3\times 380-480\text{V}$; $50/60\text{ Hz}$; $2,7/2,6\text{A}$; Изходни параметри: $3\times 0-V_{in}$; $0-590\text{Hz}$; $3/2,7\text{A}$; IP20;
- софтстартер на Danfoss Motor Controller с $U_c=400-415\text{V}$; $50/60\text{ Hz}$; $I_c=\text{max } 3,5\text{A AC}$; $U_c=24-415\text{V AC/DC}$; $U_i=660\text{V}$; $U_{\text{imp}}=4\text{kV}$.

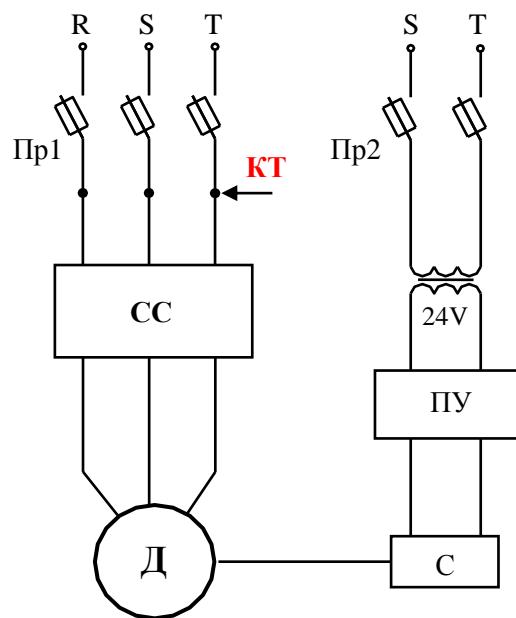
Като товарно устройство към двигателя е куплирана електромагнитна спирачка със захранващо напрежение 24V , осигурявано от трансформатор $400/24\text{V}$. Входният сигнал може да се променя посредством потенциометър от 0 до 10V .

Изходният сигнал се изменя от 0 до 2А. Максималната консумирана мощност е 30W. Чувствителността е 10mV.

На фиг.1 е показана блок схема на опитната постановка при управление на асинхронния двигател с честотен преобразувател, а на фиг.2 - при управление на двигателя със софтстартер. Използваните означения на фигурите са: КТ - контролна точка; ЧП - честотен преобразувател; СС - софтстартер; ПУ - платка управление; Д - двигател; С - спирачка.



Фиг.1. Управление с честотен преобразувател



Фиг.2. Управление със софтстартер

3. ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Измерването е проведено със специализиран измервателен прибор QUALISTAR С.А. 8332 на Chauvin Arnaux в контролните точки показани на фиг.1 и фиг.2. Мрежата е трифазна трипроводна. Точките, в които е свързан уреда са на клемите излизаци от автоматичния предпазител захранващ за фиг.1 честотния регулатор, а за фиг.2 софтстартера. От там е взет токов и напреженов сигнал [3].

Двигателят се натоварва посредством електромагнитната спирачка, променяйки захранващото ѝ напрежение чрез потенциометър.

При работа на двигателя със софтстартер измерването е проведено при честота на захранващото напрежение 50Hz и изменение на захранващото напрежение на електромагнитната спирачка в границите от 0 до 4V, като така се променя товара на двигателя. В табл.1 са показани резултатите от това измерване.

При работа на двигателя с честотен преобразувател са проведени четири измервания при различни честоти на захранващото напрежение съответно 50Hz, 45Hz, 40Hz, 35Hz и изменение на захранващото напрежение на електромагнитната спирачка в границите от 0 до 4V за всяка от посочените честоти, като така се променя товара на двигателя. Резултатите от проведените измервания са дадени в табл.2.

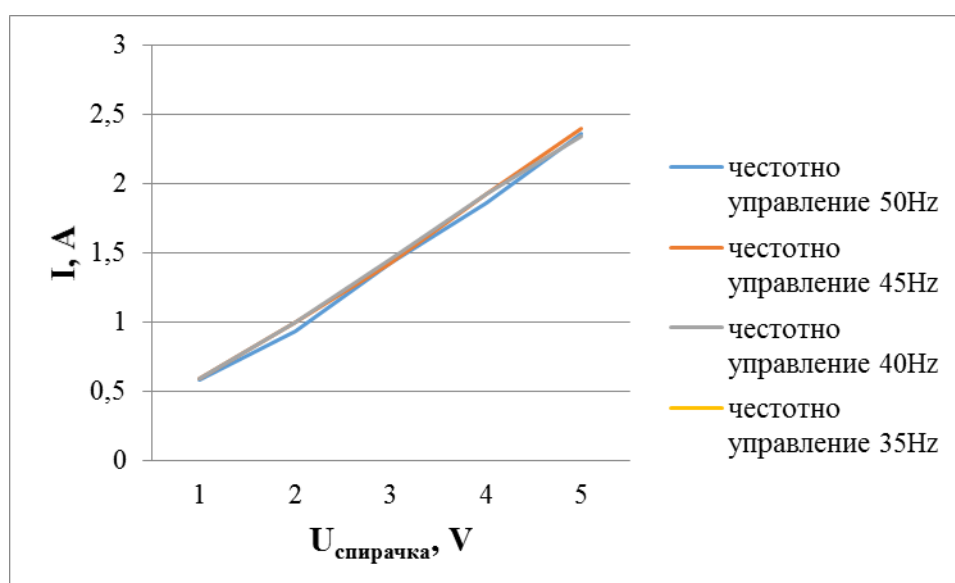
Таблица 1

Софтстартер	$U_{\text{спирачка}}, V$	0	1	2	3	4
50Hz	I, A	2,2	2,2	2,2	2,3	2,6
	P_k, W	208,4	292,7	473,3	758,5	1162

Таблица 2

Честотен преобразувател	$U_{\text{спирачка}}, V$	0	1	2	3	4
50Hz	I, A	0,58	0,93	1,42	1,86	2,36
	P_k, W	70	220	470	750	1100
45Hz	I, A	0,59	1,00	1,42	1,92	2,4
	P_k, W	70	220	450	710	1020
40Hz	I, A	0,59	1,00	1,45	1,92	2,34
	P_k, W	60	220	400	640	900
35Hz	I, A	0,58	0,91	1,42	1,85	2,36
	P_k, W	50	150	340	550	820

На фиг.3 е показано изменението на тока на двигателя при различни честоти на захранващото напрежение, променяни посредством честотния преобразувател. Вижда се, че отчетените стойности на тока при различни честоти и един и същ товар са приблизително еднакви.

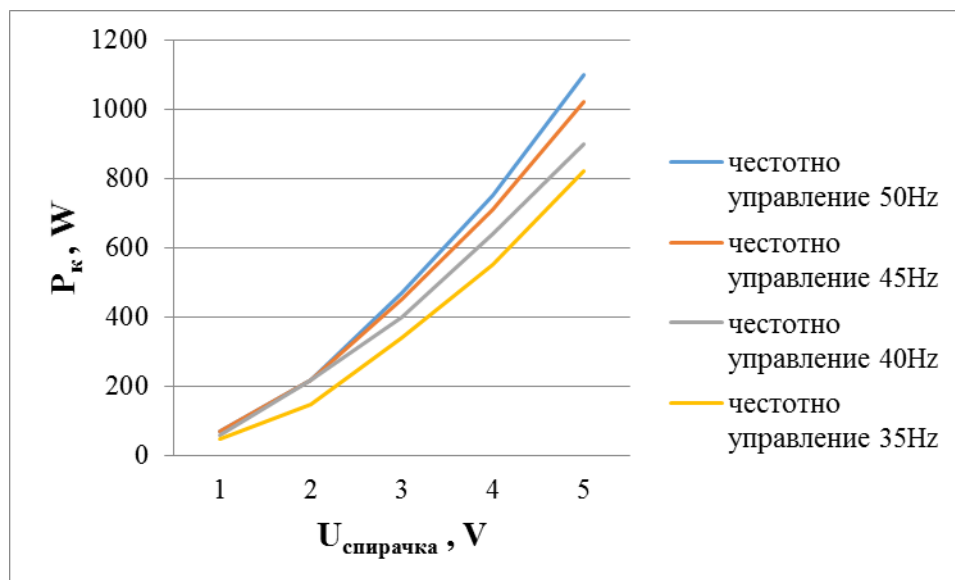


Фиг.3. Изменение на тока през двигателя, при различни честоти на захранващото напрежение

Изменението на консумираната активна мощност от електрическия двигател при различни честоти на захранващото напрежение, променяни от честотния преобразувател, е дадено на фиг.4. От графиката се вижда, че консумираната активна мощност нараства с увеличаването на товара, но в същото време с намаляването на честотата на захранващото напрежение при едни и същи стойности на товара на двигателя, консумираната активна мощност намалява. Това

се дължи на честотното управление, при което се поддържа отношението между напрежението и честотата константа, т.е. $U/f = \text{const}$.

Следователно реализираната икономия на електрическа енергия се получава в следствие на намаляване на големината на захранващото напрежение и на честотата.



Фиг.4. Изменение на консумираната активна мощност, при различни честоти на захранващото напрежение

В табл.3 е показана икономията на активна мощност ΔP в проценти при различните честоти на захранващото напрежение и работа на двигателя с честотен преобразувател.

Таблица 3

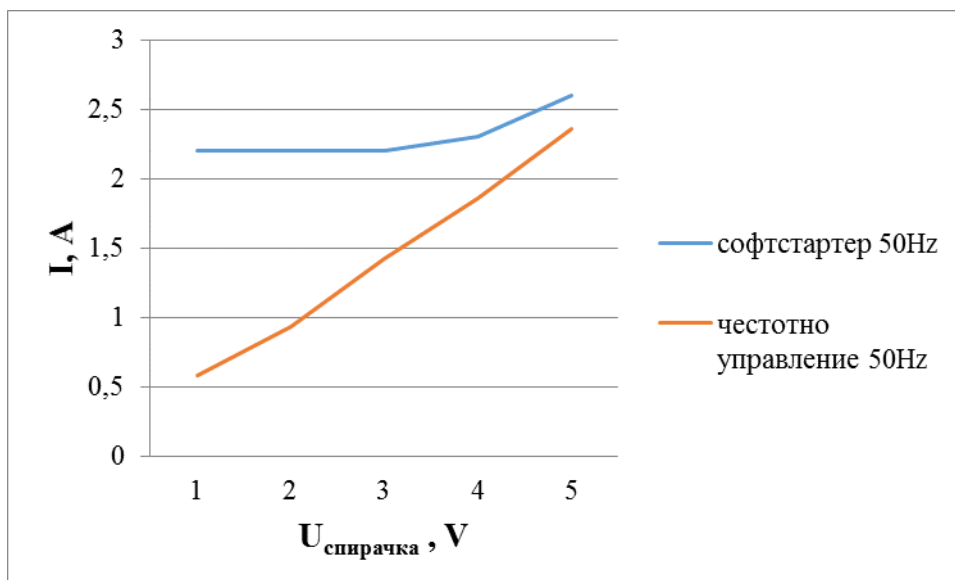
Uспирачка, V	0	1	2	3	4
ΔP при 50Hz и 45Hz, %	0	0	4,26	5,33	7,27
ΔP при 50Hz и 40Hz, %	14,29	0	14,89	14,67	18,18
ΔP при 50Hz и 35Hz, %	28,57	31,82	27,66	26,67	25,45

От изчислените стойности се вижда, че най-голяма икономия на активна мощност се реализира при честота на захранващото напрежение 35Hz.

На фиг.5 е показано изменението на тока на двигателя при работа със софтстартър и с честотен преобразувател.

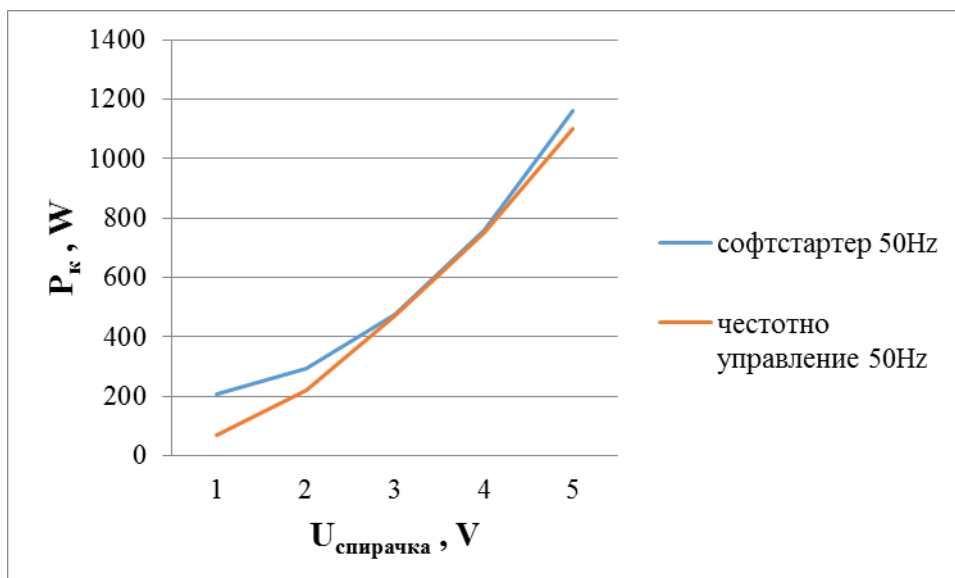
Честотата на захранващото напрежение и в двата случая е 50 Hz. Вижда се, че тока при работа на двигателя със софтстартър се променя в границите от 2,2А до 2,6А, а при регулиране с честотно управление тока нараства плавно от 0,58А до 2,36А.

Всички измерени стойности на тока при работа със софтстартър са по-големи от тези при работа с честотен преобразувател.



Фиг.5. Изменение на тока през двигателя при работа със софтстартер и с честотен преобразувател

На фиг.6 е дадено изменението на консумираната активна мощност от изследвания двигател при работа със софтстартер и с честотен преобразувател. Консумираната активна мощност при честотно управление на двигателя е по-малка в сравнение с работа на двигателя със софтстартер.



Фиг.6. Изменение на консумираната активна мощност от двигателя при работа със софтстартер и с честотен преобразувател

В табл.4 е показана икономията на активна мощност ΔP в проценти при работа на двигателя със софтстартер и с честотен преобразувател, при честота на захранващото напрежение 50Hz.

Таблица 4

U _{спиралка} , V	0	1	2	3	4
ΔP , %	66,4	24,8	0,7	1,1	5,3

От направените изчисления се вижда, че реализираната икономия при използването на честотен преобразувател за управление на асинхронен двигател е най-голяма при работа на празен ход (66,4%), докато с увеличаване на натоварването икономията на активна мощност намалява.

В табл.5 е дадено изменението на фактора на мощността при работа със софтвертер и с честотен преобразувател. Честотата на захранващото напрежение е 50 Hz. Факторът на мощността е най-голям при максимален товар. С намаляване на натоварването и фактора на мощността намалява. При използването на честотен преобразувател за управление на двигателя се реализира по-голям фактор на мощността, като тази тенденция се запазва и при намаляване на товара.

Таблица 5

$U_{\text{спирачка}}, V$	1	2	3	4
Фактор на мощността при честотно управление и 50Hz	0,5	0,71	0,77	0,83
Фактор на мощността при софтвертер и 50Hz	0,2	0,31	0,45	0,65

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените измервания на токовете и на консумираната активна мощност на изследвания обект – асинхронен двигател и от анализа на резултатите може да се каже, че:

- Токът през двигателя при едни и същи стойности на товара и различни стойности на честотата на захранващото напрежение е приблизително еднакъв;
- Консумираната активна мощност от двигателя намалява с намаляване на честотата на захранващото напрежение;
- При управление на двигателя посредством честотен преобразувател, тока през двигателя се променя плавно за различните стойности на товара, в сравнение със софтвертер;
- Консумираната активна мощност е по-малка при управление посредством честотно управление в сравнение със софтвертер.
- Реализираната икономия на активна мощност е най-голяма при празен ход и използване на честотен преобразувател, в сравнение с използването на софтвертер.

В заключение може да се каже, че използването на честотни преобразуватели за управлението на асинхронни двигатели осигурява икономия на енергия, в сравнение с използването на софтвертери.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследванията в тази публикация са проведени благодарение на подкрепата на НИС при ТУ-София, договор № 141ПД0055-01.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Clarence A., *Variable Speed Drive Fundamentals*, The Fairmont Press Inc., ISBN 0-88173-258-3, 1997.

[2] www.danfoss.com/drives.

[3] Цанев Ц., С. Цветкова, В. Цветкова, Определяне на контролните точки за монтаж на апаратура за измерване на качеството на електрическата енергия, Енергиен форум 2008, Варна, 11-14 юни 2008, Варна, стр. 321-329

Автори: Ангел Петлешков, гл. ас., катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, Е-mail address: apetl@tu-sofia.bg; Николай Стоманиарски, маг. инж., катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, Е-mail address: nstomaniarski@tu-sofia.bg; Светлана Цветкова, доц. д-р, катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, Е-mail address: stzvet@tu-sofia.bg; Ваня Петрова, инж, ПГЖТ „Н. Вапцаров“, Е-mail address: vaniatzvet@abv.bg.

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Радослав Спасов

РАЗРАБОТКА НА СОФТУЕР ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ И РАЗПРЕДЕЛЯНЕ НА КОМПЕНСИРАЩА КОНДЕНЗАТОРНА МОЩНОСТ В ПРОМИШЛЕНИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Пламен Цанков

Резюме: В статията е представена разработка на приложен софтуер за определяне и разпределяне на компенсираща кондензаторна мощност в промишлени предприятия. Представени са изчислителни методи, използвани в алгоритмите на софтуерния продукт. Показани са етап от разработката на програмата в средата на Borland Delphi, интерфейса на четирите модула на програмата и примерни резултати от изчисления. Представени и анализирани са възможностите за приложение на разработения софтуерен продукт в практиката.

Ключови думи: алгоритмизация, приложно програмиране, компенсирание на реактивни товари в промишлени предприятия

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR DETERMINING AND DISTRIBUTION OF COMPENSATIONAL CAPACITOR POWER IN INDUSTRIAL ENTERPRISES

Plamen Tsankov

Abstract: The article presents the development of software for determining and distribution of compensational capacitor power in industrial enterprises. The computational methods used in the algorithms of the software are given. Stages of development of the software in the program environment of Borland Delphi, the interface of the four modules of the program and the results of sample calculations are shown. The possibilities for application in practice of the developed software are presented and analyzed.

Keywords: algorithmization, application programming, compensation of reactive loads in industrial enterprises

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Компенсирането на реактивните електрически товари в промишлените предприятия е необходимо поради намаления фактор на мощността ($\cos \varphi$) на електрическите товари. Основни консуматори на реактивна електрическа енергия са: асинхронните двигатели ($60 \div 65$)%, силовите трансформатори ($15 \div 20$)%, светлинните източници ($5 \div 10$)% и електропроводите ($5 \div 10$)%. Работата на

електроснабдителната система на промишленото предприятие (ЕСПП) с влошен $\cos \varphi$ предизвиква увеличени загуби на електрическа мощност и енергия в елементите на ЕСПП и необходимост от допълнителни финансови средства за заплащане на реактивна енергия [1].

В България начинът на заплащане на реактивната енергия е определен в Наредба № 1 от 18 март 2013 г. за регулиране на цените на електрическата енергия [2], въведена от 2004 г., с изменения през 2007 и 2012 г. Според Чл. 7, ал. 1, клиентите на електрическа енергия от електрическите мрежи с предоставена електрическа мощност 100 kW и повече и разпределителните предприятия заплащат надбавка върху стойността на активната електрическа енергия в зависимост от използваната реактивна електрическа енергия за всеки петнадесетминутен интервал, при който факторът на мощността е по-малък от 0,9. Според чл. 7, ал. 3, количеството използвана реактивна електрическа енергия, за което се заплаща надбавката по ал. 1, е положителната разлика, съгласно формулата:

$$E_{p_{пл}} = E_{p_{изп}} - 0,49 \cdot E_{a_{изп}} \quad (1)$$

където:

- $E_{p_{пл}}$ е количеството реактивна електрическа енергия, за което са заплаща надбавка, kVArh;
- $E_{p_{изп}}$ - количеството използвана реактивна електрическа енергия от ползвателя, kVArh;
- 0,49 - коефициентът, съответстващ на фактор на мощността - $\cos \varphi = 0,9$;
- $E_{a_{изп}}$ - количеството използвана активна електрическа енергия, kWh.

Според чл. 7, ал. 4, лицата по ал. 1 и 2 заплащат надбавката за използваното количество реактивна електрическа енергия ($E_{p_{пл}}$), определена по реда на ал. 3, по цена за 1 kVArh, равна на 10 на сто от базисната цена за 1 kWh активна електрическа енергия. Според чл. 7, ал. 5 (Изм. - ДВ, бр. 17 от 2014 г., в сила от 28.02.2014 г.), лицата по ал. 1 заплащат надбавка за отдаденото през съответния календарен месец количество реактивна електрическа енергия, определено по показанията на средствата за търговско измерване, в IV квадрант при еднопосочно измерване на активната електрическа енергия или сумарната измерена реактивна електрическа енергия от III и IV квадрант при двупосочно измерване на активната електрическа енергия, на цена за 1 kVArh, равна на утвърдената цена за 1 kWh активна електрическа енергия, по която общественият доставчик продава електрическата енергия на крайните снабдители и електроразпределителни дружества.

Най-разпространеният метод за компенсиране на реактивната мощност в България е чрез използване на кондензаторни батерии (КБ). За реализиране на оптимално компенсиране на реактивната мощност в промишлените предприятия чрез кондензаторни батерии се извършват изчисления в следните два етапа:

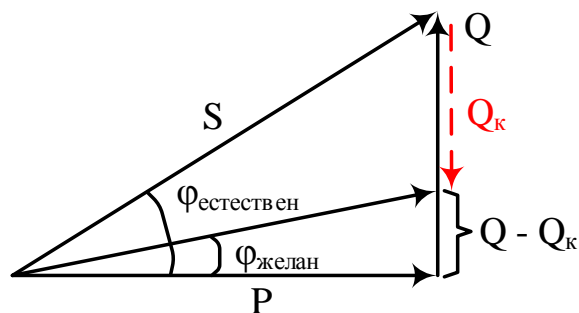
- определяне на необходимата обща кондензаторна мощност Q_k ;
- разпределение на компенсиращата мощност в ЕСПП.

Цел на настоящата разработка е създаване на специализиран софтуерен продукт за автоматизиране на изчисленията за определяне на необходимата обща кон-

дензаторна мощност Q_k и нейното оптимално разпределение в ЕСПП при различни срещани в практиката електрически схеми и начини на управление на кондензаторната мощност: радиална схема без автоматично регулиране по $\cos \varphi$; радиална схема с автоматично регулиране на $\cos \varphi$, магистрална схема; радиална схема с разпределение на кондензаторните мощности между ниско и средно напрежение.

2. ИЗЧИСЛИТЕЛНИ МЕТОДИ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ РАЗРАБОТКАТА НА СОФТУЕРНИЯ ПРОДУКТ

При разработката на софтуерния продукт, в етапа за определяне на необходимата кондензаторна мощност Q_k , се съобразяват изискванията на наредбата за регулиране на цените на електрическата енергия. Тя предписва зона на $\cos \varphi_{пр} = 0,9 \div 1$ – индуктивен, в която се избира желаня фактор на мощността $\cos \varphi_{ж}$ за изчисляване на $Q_k, kVAr$.



Фиг.1.

От векторната диаграма на фиг.1 се извеждат следните зависимости за определяне на необходимата кондензаторна мощност $Q_k, kVAr$ [1]:

$$Q_k = k \cdot P_{ср} \cdot (tg\varphi_{ест.ср} - tg\varphi_{жел.}) \quad (2)$$

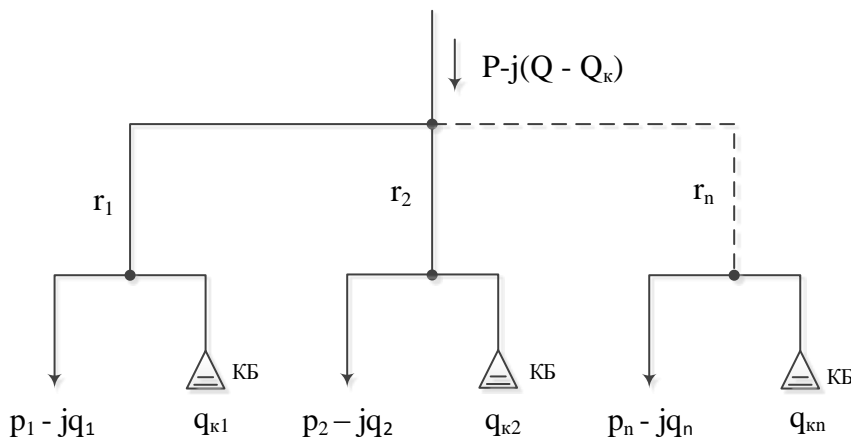
$$Q_k = P_m \cdot (tg\varphi_{ест.} - tg\varphi_{жел.}) \quad (3)$$

Зависимостта (2) се използва в модулите на програмата при изчисляване на Q_k в схеми без автоматично регулиране по $\cos \varphi$, а формула (3) – при автоматично регулиране за поддържане на $\cos \varphi_{ж} = const$.

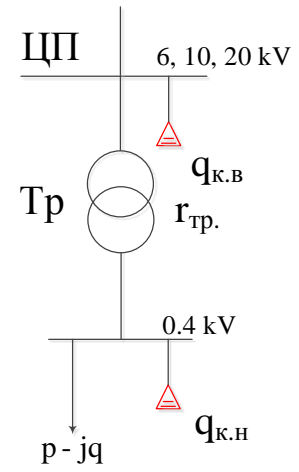
В етапа разпределение на компенсиращата мощност в ЕСПП, при разработката на софтуера, се използва методика с критерий за оптимално разпределение – минимизиране на приведените годишни разходи на промишленото предприятие [1].

При разработката на алгоритмите на софтуера се използват следните аналитични зависимости за оптимално разпределение в зависимост от схемата на електрическата разпределителна мрежа на ЕСПП:

- за радиална електрическа мрежа (фиг.2):



Фиг.2.



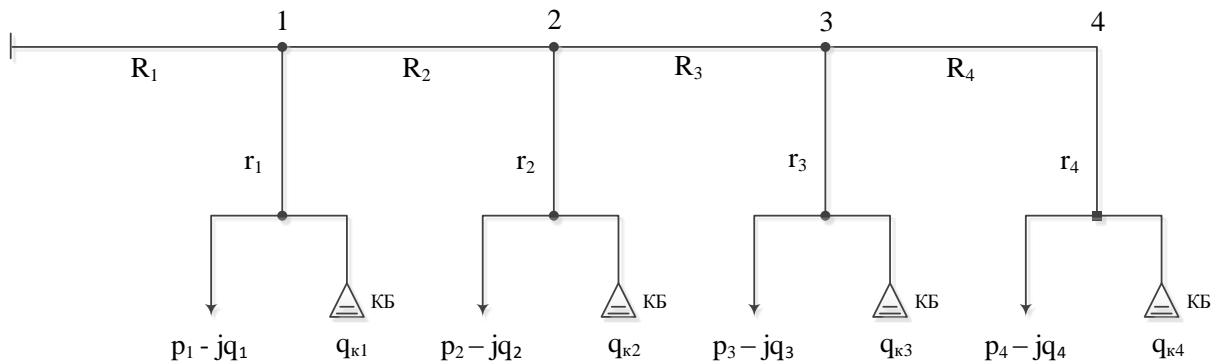
Фиг.3.

$$q_{ki} = q_{i\text{ср}} - \frac{(Q_{\text{ср}} - Q_k)}{r_i} \cdot r_e \quad (5)$$

където:

$$r_e = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_i} + \dots + \frac{1}{r_n} \quad (6)$$

- за магистрална електрическа мрежа (фиг.4):



Фиг.4.

$$q_{ki} = q_{i\text{ср}} - \frac{(Q_{\text{ср}} - \sum_1^{i-1} q_{i\text{ср}}) - (Q_k - \sum_1^{i-1} q_{ki})}{r_i} \cdot r_{i\text{екв.}} \quad (7)$$

където:

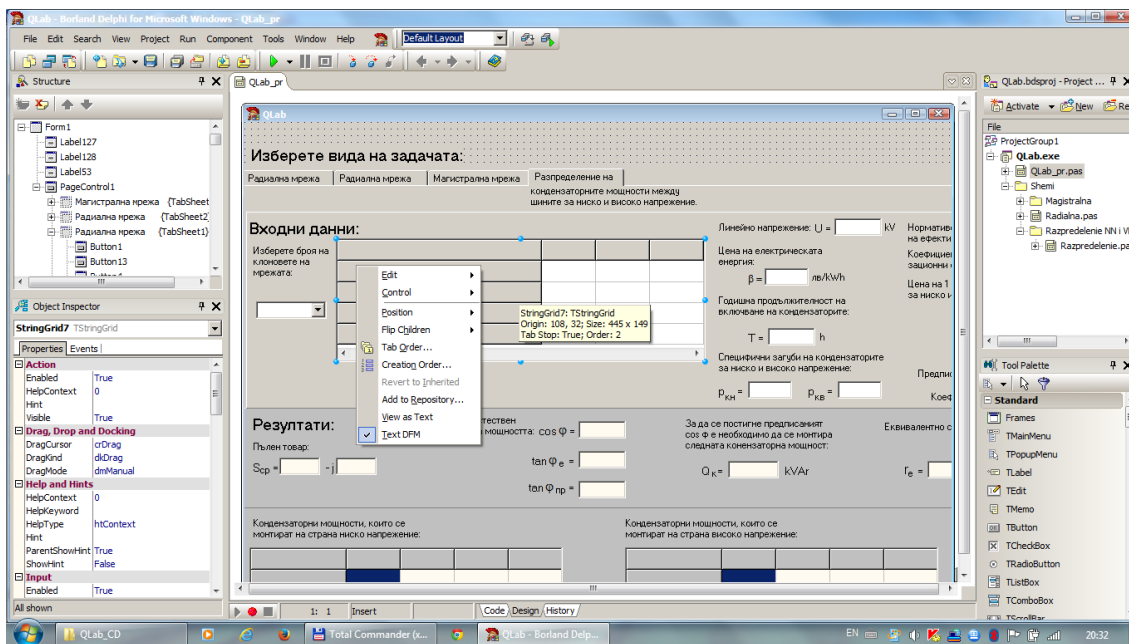
$$r_{i\text{екв.}} = \frac{r_i \cdot (R_{i+1} + r_{i+1\text{екв.}})}{r_i + (R_{i+1} + r_{i+1\text{екв.}})} \quad (8)$$

- схема с разпределение на КБ между ниско и средно напрежение (фиг.3):

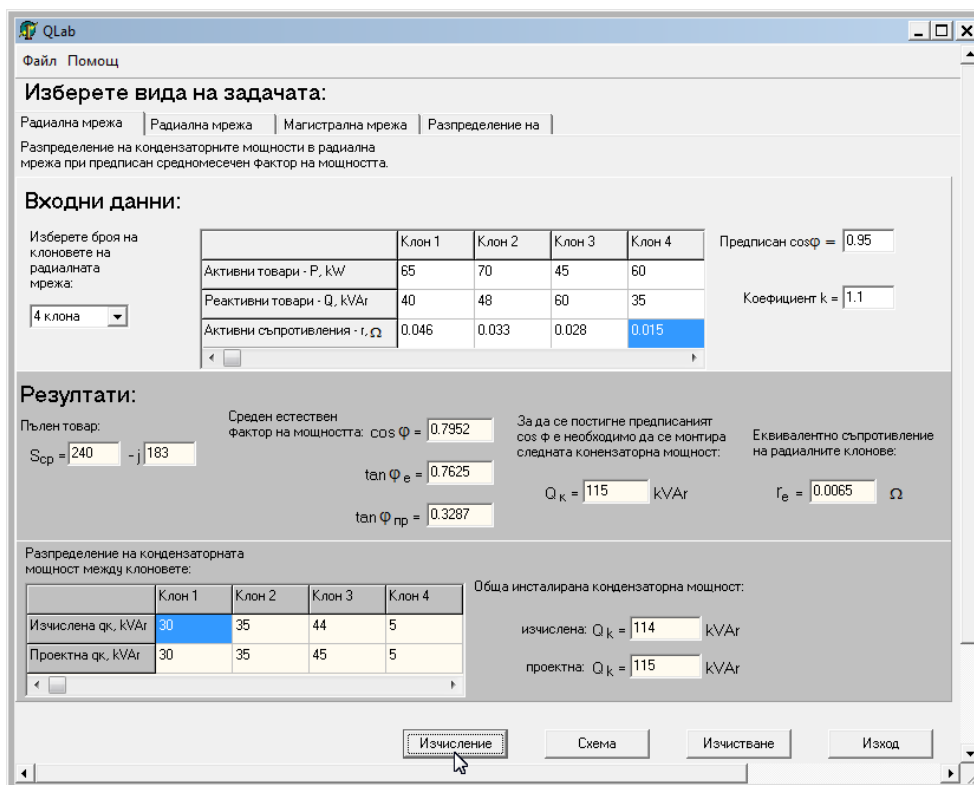
$$q_{k\text{н}} = q_{\text{ср}} - \frac{1000 \cdot U^2}{2 \cdot T \cdot \beta \cdot r_{\text{Тр.}}} \left[(\Delta P_{k,\text{н}} - \Delta P_{k,\text{в}}) \cdot T \cdot \beta + (p_a + p_{\text{н}})(K_{\text{н}} - K_{\text{в}}) \right] \quad (9)$$

3. РАЗРАБОТКА НА СПЕЦИАЛИЗИРАН СОФТУЕРЕН ПРОДУКТ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ И ОПТИМАЛНО РАЗПРЕДЕЛЯНЕ НА КОМПЕНСИРАЩА КОНДЕНЗАТОРНА МОЩНОСТ В ПРОМИШЛЕНИ ПРЕДПРИЯТИЯ

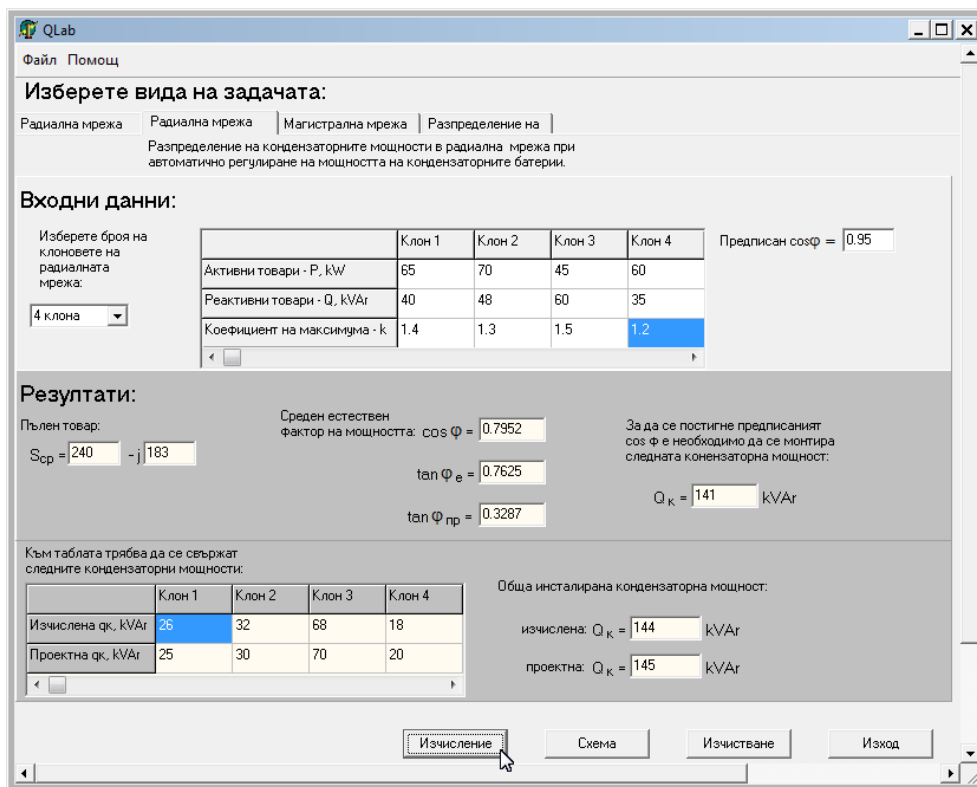
Разработката на софтуерния продукт, наречен QLab, е извършена в програмната среда на Borland Delphi [3]. Етап от създаването на графичния потребителски интерфейс на програмата е показан на фиг.5.



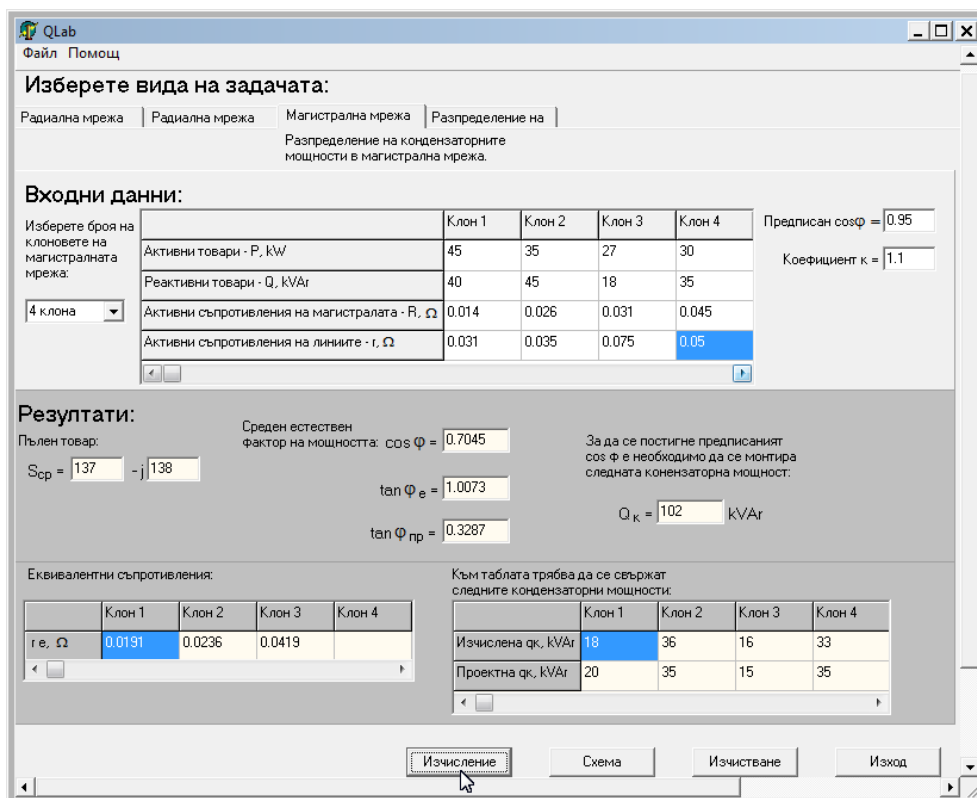
Фиг.5. Етап от разработката на софтуерния продукт QLab.



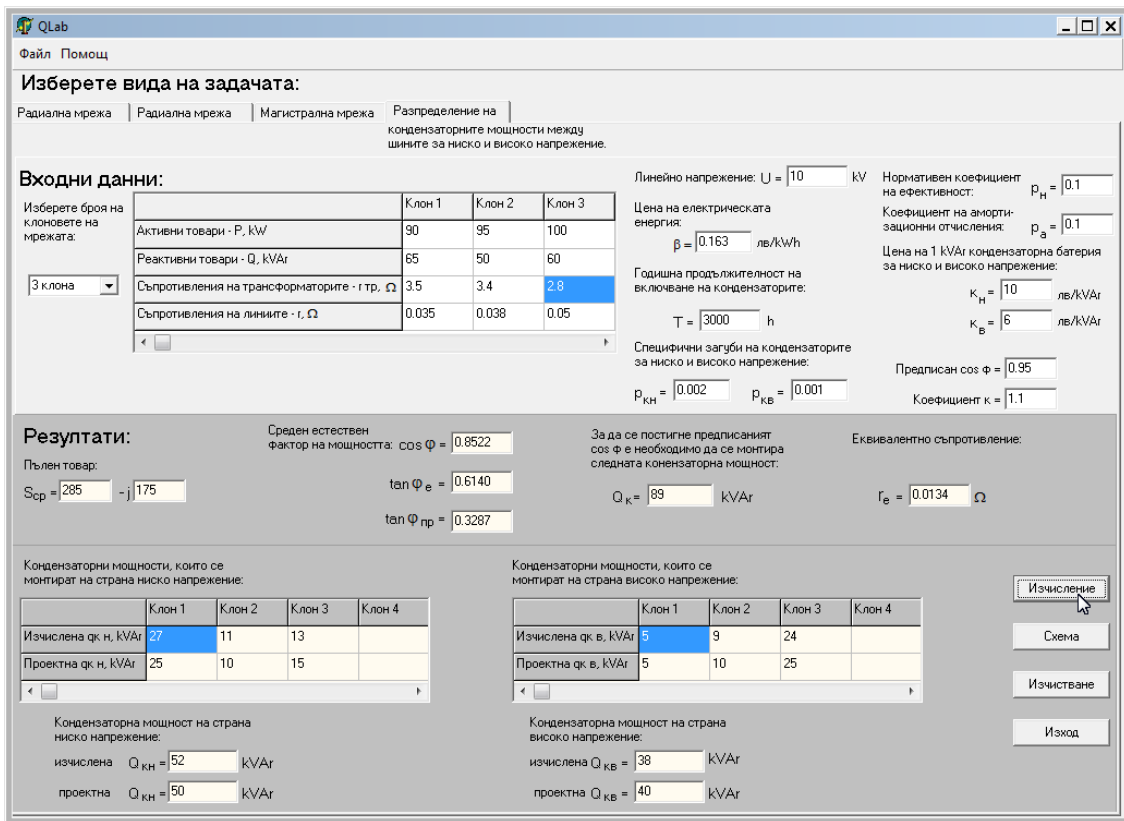
Фиг.6. Модул за определяне и оптимално разпределяне на кондензаторната мощност в радиална мрежа.



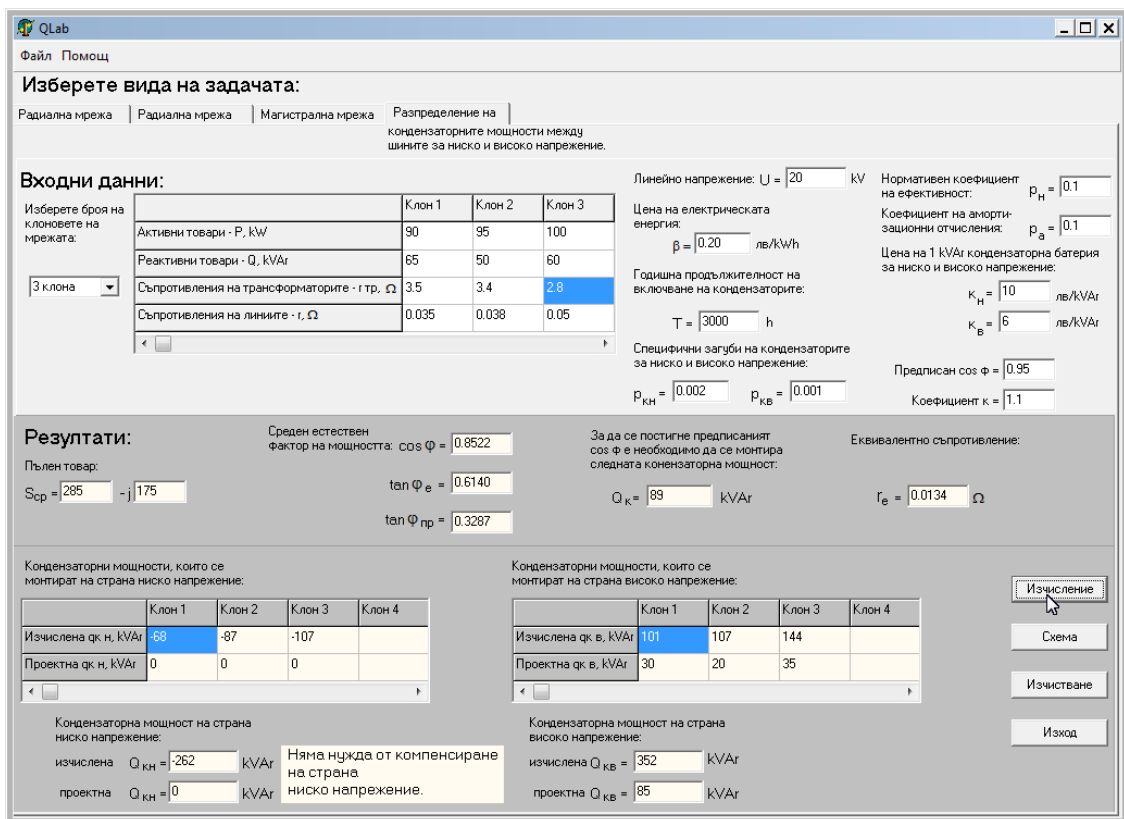
Фиг.7. Модул за определяне и оптимално разпределяне на кондензаторната мощност в радиална мрежа при автоматично регулиране на компенсирателната мощност.



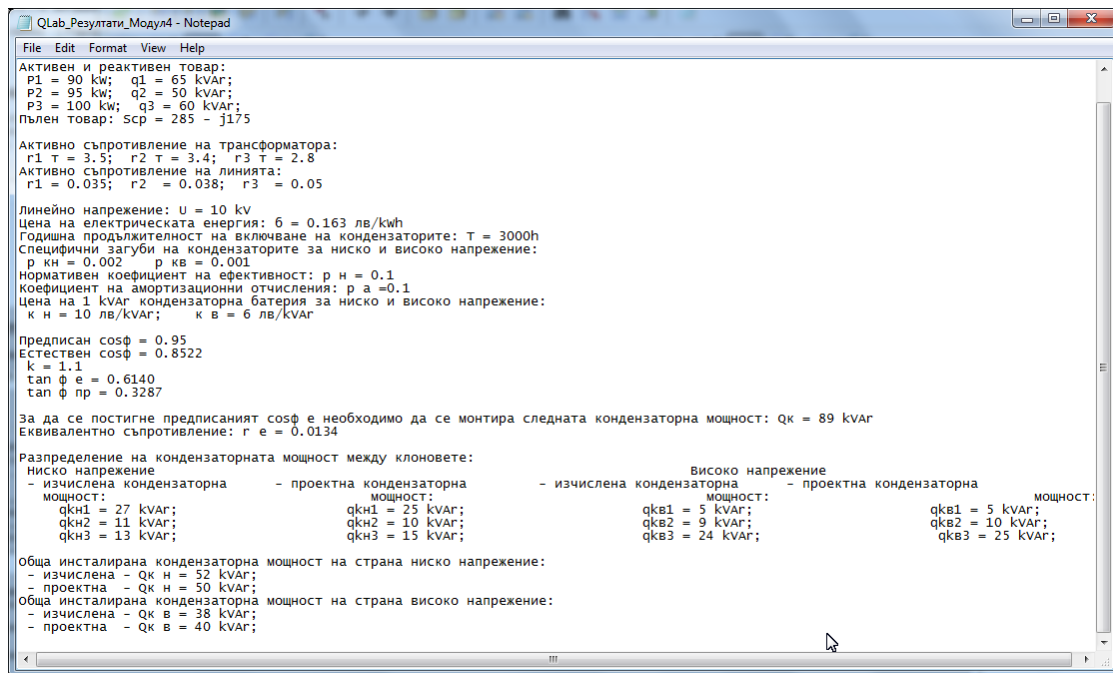
Фиг.8. Модул за определяне и оптимално разпределяне на кондензаторната мощност в магистрална електрическа мрежа.



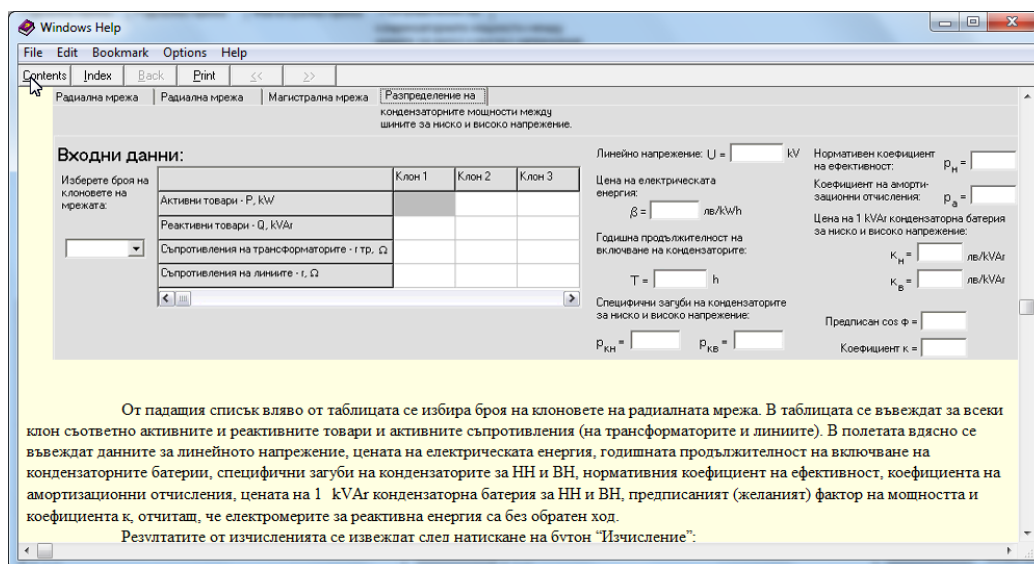
Фиг.9. Модул за определяне и оптимално разпределяне на кондензаторната мощност между ниско и средно напрежение в радиална електрическа мрежа.



Фиг.10. Примерно преизчисляване на резултатите и преразпределяне на компенсиращите мощности при промяна на цената на електрическата енергия и номиналното напрежение на цеховите подстанции.



Фиг.11. Запис на резултати от програмата QLab в стандартен текстов файл



Фиг.12. Помощна система на програмата QLab чрез стандартен Windows Help файл с възможност за автоматизирано търсене.

Потребителският интерфейс на софтуерния продукт QLab се състои от една основна форма, от която са достъпни директно чрез "Tab"- полета четирите основни изчислителни модула. Разработени са компютърни алгоритми и програмната реализация в средата на Borland Delphi на:

- модул за определяне и оптимално разпределяне на кондензаторната мощност в радиална мрежа за постигане на желания $\cos\phi$ без автоматично управление на компенсиращата мощност – фиг.6;

- модул за определяне и оптимално разпределяне на кондензаторната мощност в радиална мрежа при автоматично регулиране на компенсиращата мощност за непрекъснато поддържане на желания $\cos\phi$ - фиг.7;

- модул за определяне и оптимално разпределяне на кондензаторната мощност в магистрална електрическа мрежа - фиг.8;

- модул за определяне и оптимално разпределяне на кондензаторната мощност между ниско и средно напрежение в радиална електрическа мрежа - фиг.9.

Разпределението на компенсиращата мощност в модулите за радиална електрическа мрежа се извършва за зададен от потребителя произволен брой радиални клонове. При липса на необходимост от компенсиране в един или няколко от клоновете, алгоритъмът преизчислява компенсиращите мощности на останалите, така че да се постигне желания $\cos \varphi$ за целия обект.

В алгоритъма на модула за определяне и оптимално разпределяне на кондензаторната мощност между ниско и средно напрежение в радиална електрическа мрежа са включени проверки и индикация за липса на необходимост от компенсиране на даден клон, страна ниско или средно напрежение – фиг.10. В такива случаи отново се извършва изчисляване на компенсиращите мощности на останалите клонове и ниво на напрежение, така че да се постигне желания $\cos \varphi$ за целия обект.

Разпределението на компенсиращата мощност в модула за магистрална мрежа се извършва за произволен брой отклонения от магистралата. За реализация на този алгоритъм са използвани изведените формули (7) и (8) на базата на постановката, представена в [1].

Резултатите от изчисленията от всеки от програмните модули могат да се разпечатват директно на принтер или съхраняват в стандартен текстов файл за допълнителна обработка или включване в проектна документация - фиг.11. За улеснение на работата с програмата е предвидена визуализация на схемата на изчисляваната електрическа разпределителна мрежа във всеки от модулите чрез натискане на бутон „схема“, при което се извежда съответен графичен прозорец. Към програмата QLab е разработена помощна система чрез стандартен Windows Help файл с възможност за автоматизирано търсене - фиг.12.

Основните системни изисквания и характеристики на разработения софтуерен продукт QLab са следните:

- операционна система 32 или 64 bit Microsoft Windows XP, Vista, 7, 8;
- процесор с честота ≥ 0.5 GHz, RAM ≥ 256 MB;
- препоръчителна резолюция на дисплея 1024 x 768 pix или по-висока. При по-ниска резолюция, автоматично се активира хоризонтален и вертикален скролер, които позволяват продължаване на работата;
- не е необходима специална инсталация. Програмата се състои от един изпълним EXE файл и помощен HLP файл, които могат да бъдат стартирани от произволна директория на твърдия диск или преносим носител.

На фиг.6÷ фиг.10 са показани примерни изчисления с всеки един от модулите на разработения софтуерен продукт QLab. Сравнението на резултатите на фиг.6 и фиг.7 показва възможността на анализ на разликите в компенсиращите мощности без и с автоматично управление за една и съща радиална електрическа мрежа. Фиг.8 представя примерни изчисления с модула за определяне и опти-

мално разпределяне на кондензаторната мощност в магистрална електрическа мрежа. На фиг.9 и фиг.10 са представени сравнителни резултати при промяна на номиналното напрежение и цената на електрическата енергия за една и съща електрическа мрежа с модула за определяне и оптимално разпределяне на кондензаторната мощност между ниско и средно напрежение в радиална електрическа мрежа.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от извършваните изчисления доказват работоспособността на разработените авторски компютърни алгоритми и софтуерен продукт QLab за определяне и разпределяне на компенсираща кондензаторна мощност в промишлени предприятия. Модулната структура на програмата предоставя възможности за сравнителни вариантни изчисления на компенсираща кондензаторна мощност:

- при различни електрически схеми на разпределителната мрежа на промишленото предприятие;
- при различни стойности на желания $\cos \varphi$;
- при промяна на цената на електрическата енергия;
- при изменение на годишната продължителност на включване на кондензаторните батерии;
- при различна номинална стойност на напрежението от страна средно напрежение на цеховите подстанции.

Софтуерният продукт QLab е успешно въведен в учебния процес в Технически Университет – Габрово за лабораторни упражнения по учебната дисциплина „Индустриални електроснабдителни системи“ и разработката на курсов проект по „Електроснабдяване“. Функционалността на програмата позволява приложението ѝ в проектантската практика за определяне и оптимално разпределяне на компенсираща кондензаторна мощност в електроснабдителни системи на промишлени предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Василев Н., С. Сидеров, *Електроснабдяване на промишлени предприятия*, София, Техника, 1991, стр. 215-230
- [2] ДКЕВР, *Наредба № 1 от 18 март 2013 г. за регулиране на цените на електрическата енергия*, Държавен вестник, брой 33 от 5.4.2013 г., стр. 19-20
- [3] Рейсдорф К., *Borland Delphi 4, том 1 и 2*, София, “ИнфоДАР”, 1998

Автор: Пламен Ценков Цанков, гл. ас. д-р инж., лаборатория „Електроснабдяване“, катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане“, Технически университет - Габрово, E-mail adress: plamen@tugab.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Николай Матанов

ЕЛЕКТРОНЕН ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА РЕАКТИВНА МОЩНОСТ И ЕНЕРГИЯ

Борислав Бойчев, Вълчан Георгиев, Александър Крумов

Резюме: В работата е представен преобразувател, използван за измерване на реактивна мощност и енергия при несинусоидални режими. Измерванията са съобразени със стандарта IEEE 1459-2010, където се препоръчват измервателни и изчислителни подходи именно при несинусоидални режими.

Ключови думи: реактивна мощност и енергия, несинусоидални режими

ELECTRONIC TRANSDUCER FOR REACTIVE POWER AND ENERGY MEASUREMENT

Borislav Bojchev, Vultchan Gueorgiev, Aleksander Krumov

Abstract: An input transducer for measurement of reactive power and energy under non sinusoidal conditions is presented. The measured quantities comply with IEEE 1459-2010 Standard Definitions for the measurement of electric power quantities.

Keywords: non sinusoidal reactive power

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Проблемът с несинусоидалната реактивна мощност и енергия е широко обсъждан през последното десетилетие. Редица автори показаха на практика [1, 2] несъстоятелността на класическите дефиниции, които бидейки изведени за синусоидални режими, се оказаха неподходящи при наличие на хармонични съставки. В публикуваният от IEEE стандарт 1459 се направи опит да се дефинира изчислителна процедура за определяне на основните енергетични параметри при несинусоидални режими, включително реактивната мощност и коефициента на мощност, (познат още като фактор на мощност, равен на $\cos\varphi$ при синусоидални режими). С този стандарт се сложи ред в теоретичните дефиниции, но разбира се, много практически проблеми останаха, включително проблема за адекватното измерване на реактивната мощност и коефициента на мощност.

Чисто практическият проблем се заключава в това, че за да се определи действителната реактивна мощност, тя трябва да се измери. Класическите измервателни уреди не са съобразени с дефинициите на горепосочения стандарт. Представеният тук преобразувател няма претенции за постигане на висока точност и използването му в измервателни приложения. Той е предназначен за системи за управление на компенсатори на реактивна мощност, които се използват в системи с ясно изразени несинусоидални режими [4]. Именно „не метрологичните“

средства формират големия практически проблем в момента – на практика не е ясно работещите в момента електромери каква точно реактивна мощност и какъв коефициент на мощност измерват. От там няма и яснота какви системи за управление трябва да се вграждат в компенсиращите устройства.

Досегашният опит показва, че новите достижения навлизат в практиката, рано или късно. Водещите производители на измервателни средства вече указват метода на определяне на реактивните товари в документацията на своите разработки. Това означава, че е необходимо системите за управление на компенсиращите устройства да се съобразят с новите дефиниции, които, макар и след време, ще навлязат масово, включително при търговското измерване на енергия. Масовото навлизане на несинусоидални товари е без всякакво съмнение. Всички устройства, които работят с „източници на постоянно напрежение“ имат на входа си изправител, най често неуправляем, с голям капацитет, включен в изхода на изправителя. Когато не се вземат специални мерки за коригиране на коефициента на мощност, схемното решение гарантира силно несинусоидален ток и реактивна енергия, която като правило не може да се измери правилно, (а значи и не може да се компенсира правилно), с класическите средства. Все по-масово навлизат светодиодни осветители. За да работи в оптимален режим, светодиодът трябва да се захранва от източник на ток, следователно генерира горепосочения проблем с несинусоидалния ток и реактивната енергия. Високата ефективност на светодиодите означава малка единична мощност на осветителите, а маломощните осветители попадат в клас D, където не се изискват специални мерки за коригиране на фактора на мощността. Така е и с много маломощни електронни контролери. Единичната мощност на тези устройства е много малка, но тя се умножава по големият им брой и това води до проблеми с качеството на електроенергията. Определянето на коефициента на мощност на такова устройство е много труден – токовете са много малки и затова се влиза в зоната на нечувствителност на много от комерсиалните измерватели.

Представеният тук преобразувател има възможност да определя коефициента на мощност при много широк диапазон на работни токове и напрежения и позволява точното определяне на коефициента на мощност, както при индуктивен, така и при капацитивен характер на товара.

2. ВХОДЕН ПРЕОБРАЗУВАТЕЛ

Към входните преобразуватели се поставят редица изисквания:

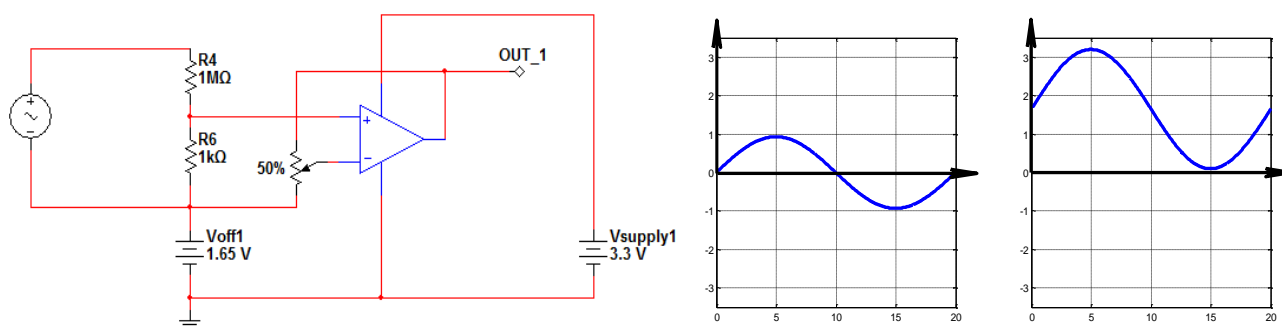
- *Точност – обикновено се поставя ограничение отдолу – грешка не по-голяма от дадена стойност;*
- *Широк обхват – неподходящият обхват е сериозен проблем особено при лабораторни измервания;*
- *Запазване на точността в целия обхват.*

Обикновено, колкото по-широк е обхвата, толкова по-трудно се осигурява висока точност.

Съвременните средства за измерване на електрически величини предполагат дискретизиране на измерваните величини – ток и напрежение и последваща математическа обработка на сигналите [3]. Задачата на входния преобразувател се свежда до преобразуване на измерваната величина до сигнал, подходящ за АЦП. Като правило, в предлаганите цифрови сигнални процесори (DSP) са интегрирани еднополярни АЦП. Това определя и един от основните проблеми – как да се преобразува променливия (двуполярен) входен сигнал до пропорционален еднополярен такъв.

Прилагат се различни подходи за решаване на проблема – изправяне на входния сигнал, използване на двуполярен АЦП, „повдигане“ на нивото на входния сигнал. Последният подход може да се използва с нескъпа елементна база и прости захранващи схеми.

Подходът е илюстриран на фиг.1. Входното променливо напрежение се подава към измервателната схема не спрямо маса, а спрямо потенциал, равен на половината от референтното напрежение на използвания АЦП.



Фиг.1. „Повдигане“ на входния измервателен сигнал.

Това решение позволява да се избегнат сложните и скъпи средства за отместване на нивото на сигнала, но трябва да се гарантира, че захранването на преобразувателя е галванично разделено от измерваната мрежа.

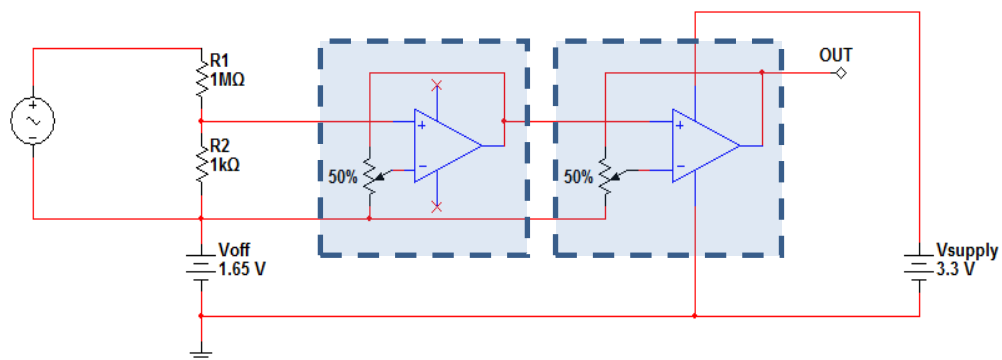
За да се осигури безопасност, евентуален интерфейс на преобразувателя – бутони, екрани, трябва също да бъде галванично разделен.

Осигуряване на достатъчно широк обхват обикновено се постига с промяна на входният делител на напрежение или шунт. Тук е предпочетен вариант с постоянен делител на напрежение / шунт и управляем коефициент на усилване.

Шунтът е оразмерен за 5А ефективен ток, което е съобразено със стандартния вторичен ток на токовете трансформатори.

Използвани са два последователно свързани неинвертиращи усилвателя (фиг.2).

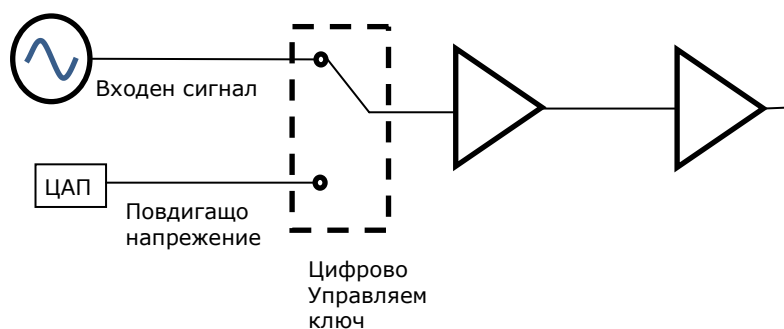
Коефициента на усилване на всеки от тях може да се управлява от 1 до 32 по цифров път. Максималният коефициент на усилване достига 1024.



Фиг.2. Разширяване на обхвата.

Така диапазонът на измерваните токове и напрежения е много голям, което позволява да се работи с много маломощни устройства.

Големият коефициент на усилване изисква специални мерки за компенсирание на напрежението на отместване на усилвателите. Напрежения на отместване от няколко стотин микроволта, при усилване 1024 би довело толкова голяма грешка, че изходният сигнал да стане напълно неизползваем.



Фиг.3. Компенсирание на напрежението на отместване.

За да се компенсира напрежението на отместване на усилвателите, повдигащото напрежение се генерира от ЦАП (фиг.3).

Чрез цифрово управляем аналогов ключ, към входа на усилвателя се подава повдигащото напрежение. Това позволява процесорът чрез бързо измерване да определи точното напрежение на отместване за избрания коефициент на усилване. Чрез управление на ЦАП, се изменя повдигащото напрежение, така че да се компенсира отместването. Това е механизъм за хардуерно компенсирание. Разбира се, същият подход може да се използва за въвеждане на софтуерна компенсация.

3. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КОЕФИЦИЕНТА НА МОЩНОСТ

Действително измерваните величини са дискретните стойности на тока и напрежението. Те формират два вектора:

$$i = [i_1, i_2, \dots, i_n] \quad (1)$$

$$u = [u_1, u_2, \dots, u_n], \quad (2)$$

където n е броят отчетени дискретни стойности в един период на измерваното напрежение.

Активната мощност се определя с израза:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n i_k u_k \quad (3)$$

Реактивната мощност, се определя по:

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n u_k i_{k-\frac{n}{4}} \quad (4)$$

Последният израз може да се приеме за апроксимация на израза, препоръчан в IEEE 1459.

Ефективните стойности на тока и напрежението се изчисляват по:

$$I = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (i_k)^2} \quad (5)$$

$$U = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (u_k)^2} \quad (6)$$

Пълната мощност е:

$$S = UI, \quad (7)$$

А коефициентът на мощност:

$$PF = \frac{P}{S} \quad (7)$$

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният преобразувател позволява с нискостойностни средства да се извърши достатъчно точно определяне на реактивната енергия и коефициента на мощност при несинусоидални режими. Основното му предназначение е да бъде съставна част от системи за компенсиране на знакопроменливи реактивни товари при все по-често срещаните несинусоидални режими.

ЛИТЕРАТУРА

[1] IEEE 1459-2010 - IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions

[2] Pretorius, J. H. C., van Wyk, J. D., and Swart, P. H., "An Evaluation of some Alternative Methods of Power Resolutions in a Large Industrial Plant," Proceedings of the Eighth International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP-VIII), Athens, Vol. I, Oct. 1998, pp. 331–6.

[3] Бойчев Б, В. Георгиев, „Точност на електронните преобразуватели за измерване на реактивна мощност и енергия“, V научна конференция на ЕФ, Созопол, 2-5 септември 2013 г.

[4] Бойчев Б, В. Георгиев „Баланс на реактивната енергия при разпределена генерация от възобновяеми енергийни източници“, Международна конференция УНИТЕХ, 18 – 19 ноември 2011, Габрово.

Автори: Борислав Бойчев, гл. ас., катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: bojchev@tu-sofia.bg; Вълчан Георгиев, доц. д-р, катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: bojchev@tu-sofia.bg; Александър Крумов, студент от магистърската програма по ЕЕ и ЕО.

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Николай Матанов

МОДЕЛИРАНЕ РЕЖИМИТЕ НА РАБОТА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ДВИГАТЕЛИ НА БАГЕРНА ГРУПА В ТФЕЦ

Иво Първанов

Резюме: Собствените нужди на топлофикационните електрически централи ТФЕЦ, като процент разходи са едни от най високите в сравнение с останалите електрически централи. Това се обуславя от комбинираното им производство на електро и топлоенергия. От тук идва и необходимостта за изследването на електрическите двигатели задвижващи отделните агрегати, работата на трансформаторите и разпределителните уредби за СН и оптимизирането на работата им с цел намаляване разходите на електрическа енергия използвана за собствени нужди.

Ключови думи: топлофикационни електрически централи, собствени нужди, багерна помпа, разпределителна уредба.

MODELING MODE OF THE ELECTRIC MOTOR EXCAVATORS GROUP IN DISTRICT HEATING POWER PLANTS

Ivo Parvanov

Abstract: District heating power plants generate thermal as well as electric power for both industrial and domestic purposes. Typical of them is that they undergo a number of extensions, reconstructions, closures of power units and modernizations according to the variation of the thermal and electric loads in the area. Furthermore, the steam generators in a single power plant could use a different fuel depending on the stage in the course of their construction. This determines a variety of units for their auxiliary as well as different electrical loads for their power supplying sections. The energy efficiency in the district heating power plants consists in the decrease of the consumed electric energy for their own needs. Measures how to raise the energy efficiency in the district heating power plants are presented in this report.

Keywords: district heating power plants, auxiliary.

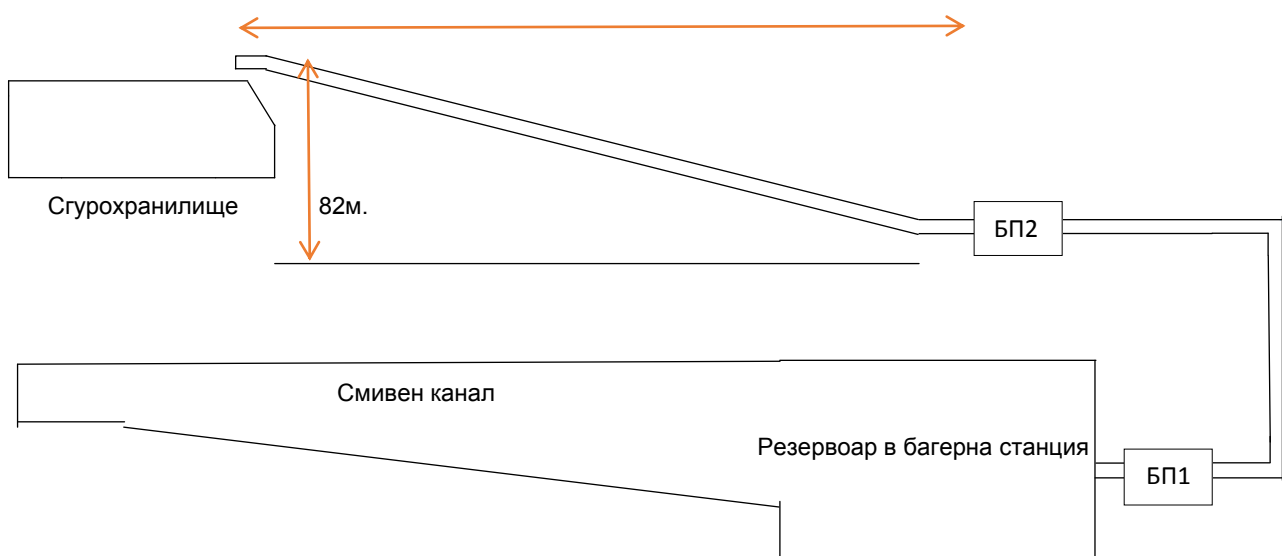
1. ПРЕГЛЕД НА СЪЩЕСТВУВАЩОТО ПОЛОЖЕНИЕ

При експлоатацията на топлофикационните електрически централи (ТФЕЦ) с времето се променя броя на консуматорите на топло и електроенергия. Характерно за тях е, че претърпяват редица разширения, реконструкции, закриване на блокове и модернизации, в зависимост от изменението на топлинните и електрическите товари в района. Освен това, парогенераторите в една централа могат

да бъдат на различно гориво в зависимост от етапа на изграждането им. Това обуславя голямо разнообразие на агрегатите за собствени нужди (с.н.) и различни натоварвания на хранящите ги секции. Също така се променя и горивната база. От специализираните учебници и литература [1] е известно, че тези разходи са в границите от 12-14%, но в действителност достигат често до 15-17%. Повечето ТФЕЦ на територията на РБългария използват като горивна база природен газ, но има и такива, които ползват въглища от местни източници и внос. Според международните норми за опазване на околната среда подписани и от нашата страна за електрически централи използващи за гориво въглища, задължително се изграждат електрически филтри от най висок клас и сероочистващи инсталации (СОИ).

В следствие на горивния процес при ТФЕЦ работещи на въглища се получават като отпадъци сгурия и димни газове, съдържащи серни, азотни и въглеродни оксиди и прах. Сгурията изтичаща при горенето на въглищата в парогенераторите се охлажда с вода, раздробява от изгребващите вериги и с помощта на вода се транспортира по смивен канал до събирателен резервоар в Багерна станция. По същия начин се транспортира и праха от електрофилтрите, отмива се с вода и от там постъпва в общия смивен канал. Отпадният продукт от сероочистващите инсталации на ТФЕЦ е с многообразен състав - силициев двуокис около 25-30% от общия обем, двуалуминиев триокис (глина) около 20%, калциев сулфат (гипс) 25%, метални окиси и други съставки. Този отпаден продукт от СОИ също се транспортира посредством вода към Багерна станция.

2100 м



Фиг.1.

На фиг.1 е показана схемата на багерна група в ТФЕЦ „Република“ -гр. Перник. Денивелацията между багерната станция и сгурохранилището е 82 м. Това се обуславя от терена, на който са изградени съоръженията, като всяка година тази денивелация се увеличава поради надграждането на сгурохранилището с 5-8 м насипна стена. Дължината на тръбопровода е 2100 м, но и тя се удължава всяка година поради стесняването на сгуроотвала. Водно-сгурната смес е от 1/15 до 1/30 пепел-вода с цел по лесното отмиване и транспортиране на материала, на-

маляване на износването на работните колела на помпите и стените на тръбопроводите, а също така и избягване на затлачването на канала, резервоара и тръбопроводите. В Багерната станция има монтирани три багерни групи с по две помпи всяка.

Във всяка Багерна група има по две еднакви помпи с дебит 1250 м³/h и налягане 7,5 at всяка и работят последователно на един тръбопровод.

Багерна помпа 1 (БП1) работи постоянно с номинален дебит и мощност, а БП2 работи периодично като подпомага работата на БП1 и с нея се регулира нивото на водно-сгурната смес в резервоара и канала. Това става с включване и изключване на БП2 от дежурния персонал, като този цикъл се повтаря по веднъж на 1-1,5 час.

2. МОДЕЛИРАНЕ НА РЕЖИМА НА РАБОТА НА АСИНХРОННИТЕ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ДВИГАТЕЛИ ЗАДВИЖВАЩИ БАГЕРНИ ПОМПИ В ЕДНА ГРУПА

Електрическите двигатели задвижващи багерните помпи са асинхронни с накъсо съединен ротор работещи с напрежение 6kV и данните за тях са дадени в табл.1. Двата електродвигателя са от един тип.

Таблица 1

Тип	P _н	k _н	n _н	I _н	cos φ _н	$\frac{I_{II}}{I_H}$	$\frac{M_{II}}{M_H}$	$\frac{M_M}{M_H}$	GD ²
	kW		об./min	A	о.н.е.	о.н.е.	о.н.е.	о.н.е.	t.m ²
ДАЗО 4450У	630	0,85	988	75	0,85	6,5	1,3	2,4	0,95

Параметрите на двигателя се определят от паспортните данни на двигателя (табл.1) и характеристиките на празен ход и късо съединение [3, 11], дадени в табл.2. Трифазният математически модел се изгражда на базата на модела разработен в Simulink на MATLAB [4]. На фиг.2 е показан модела на електро-машинен агрегат (ЕМА), задвижван от асинхронен двигател (АД) с накъсо съединен ротор при хранване с „твърдо напрежение”. Блок „18 kV 1000 MVA” представлява модел на източник на напрежение. Следва модела на трифазен управляем по време трифазен прекъсвач „3-Ph Br”.

Задължителни са блоковете за измерване „Va” и постоянен товар „1MW 500kvar”. Моделът на ЕМА представящ багерната помпа се намира в блок „BP”, вътрешната схема на който е показана на фиг. 3.

В блок „Mc” се моделира съпротивителния момент по уравнението:

$$M_C = m_C M_{CH} . \quad (1)$$

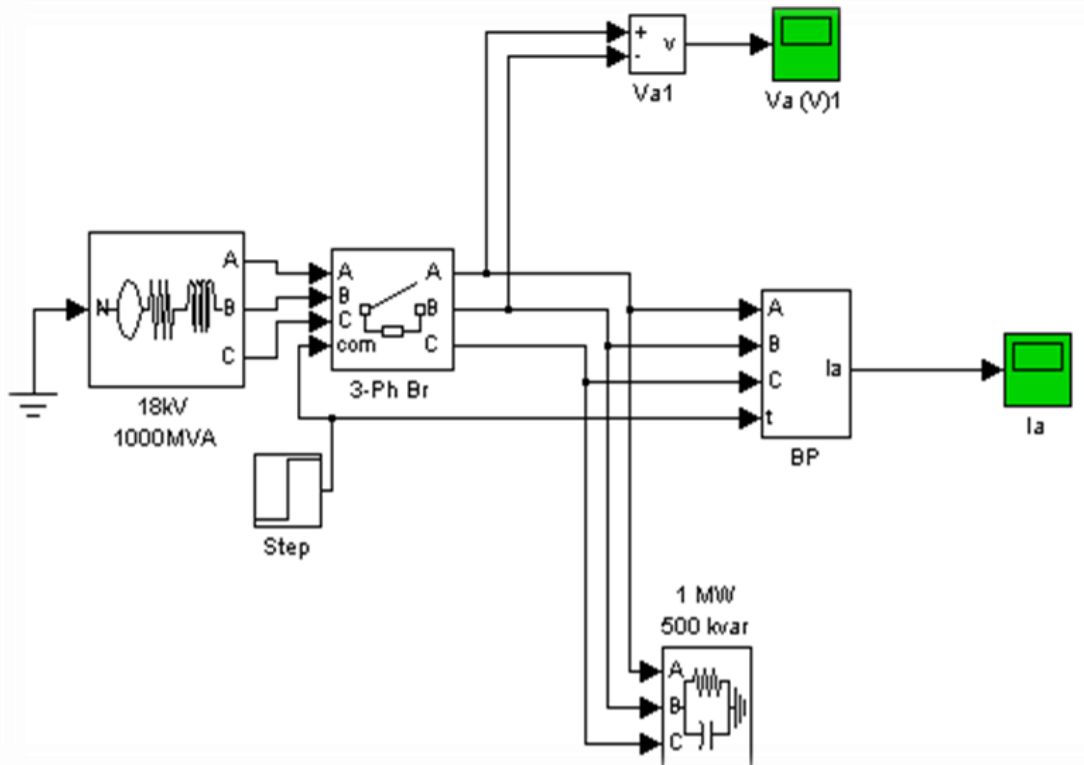
В относителни единици моментът има следния вид:

$$m_C = m_{CO} + (1 - m_{CO}) \cdot (1 - s)^r , \quad (2)$$

където r зависи от вида на механизма и неговата специфика $/r = 0 \div 5/$; m_{CO} - пусков съпротивителен момент [1]. M_{CH} е номиналният съпротивителен момент.

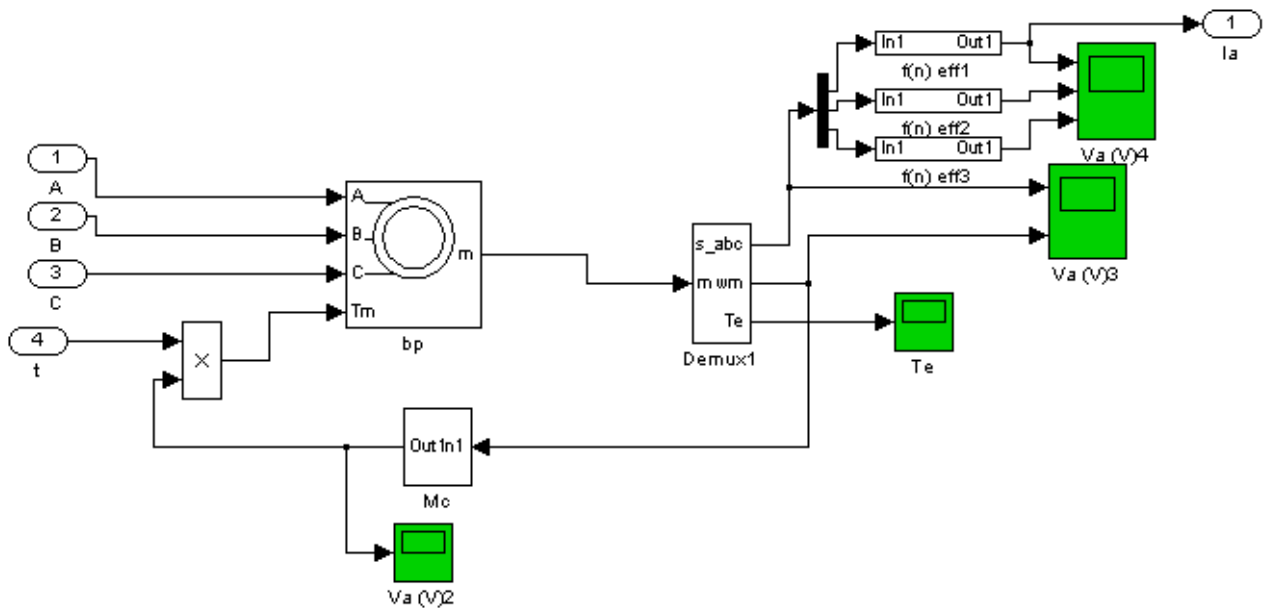
Таблица 2

Параметри Агрегат	Багерна помпа
r_1, Ω	1,2
$r_k = \frac{P_k}{3.I_{1k\phi}^2}, \Omega$	2,65
$r_2' = r_k - r_1, \Omega$	1,45
$x_1 = \frac{U_0}{\sqrt{3}.I_0}, \Omega$	350
$z_{sk} = \frac{U_{k\phi} \cdot \sin \varphi_k}{I_{k\phi}}, \Omega$	16,22
$\cos \varphi_k = \frac{P_k}{\sqrt{3}.U_k.I_k}, \Omega$	0,43
$x_{sk} = \sqrt{z_{sk}^2 - r_k^2}, \Omega$	16
$x_{s1} = x_{s2} = \frac{x_{sk}}{2}, \Omega$	8
$x_\mu = x_1 - x_{s1}, \Omega$	342
$x_1 = x_2, \Omega$	350
$M_C = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H}, Nm$	6016



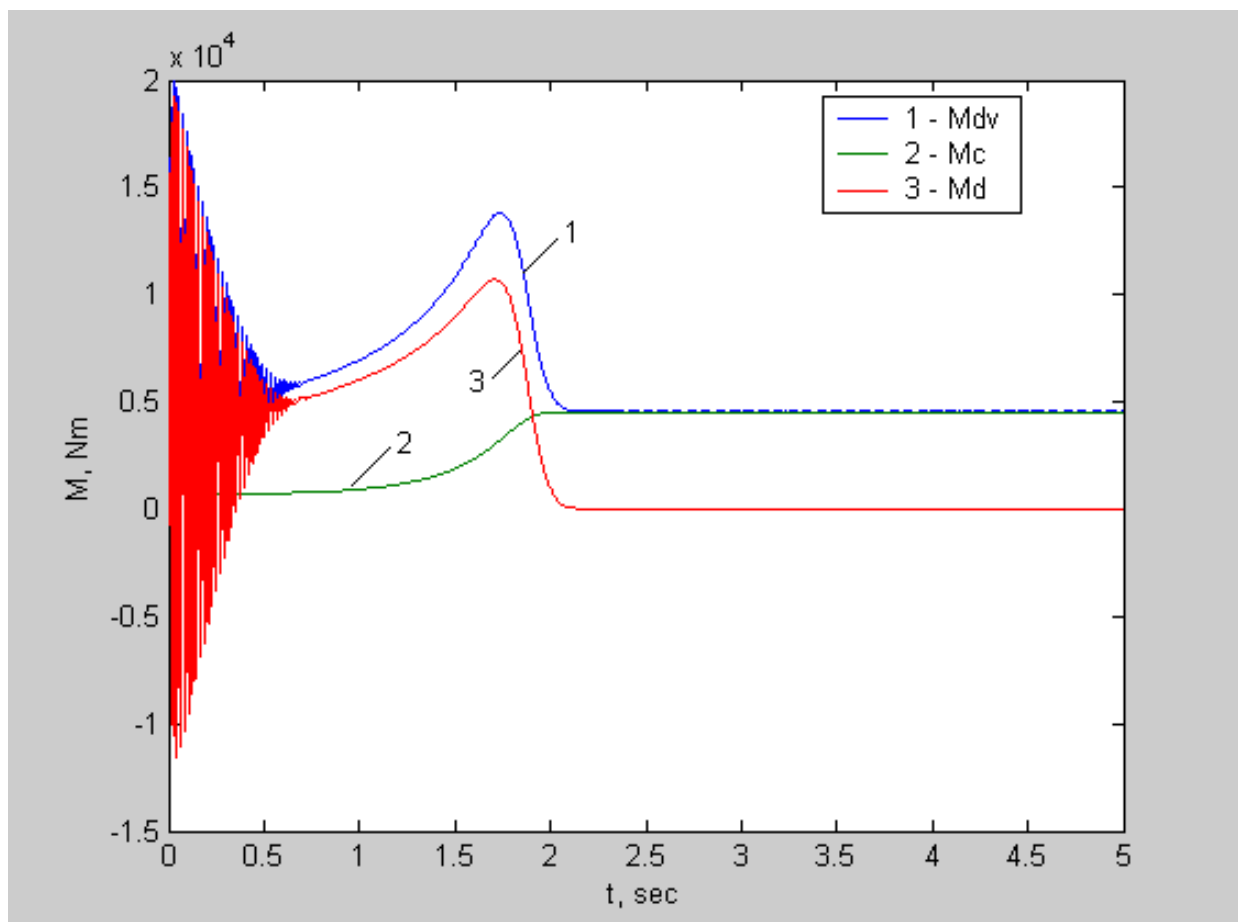
Фиг.2.

Чрез демултиплексора „demux” се извеждат за визуализация трите фази на старторния ток (моментни стойности), електромагнитния момент и ъгловата скорост на двигателя. Получени са и ефективните стойности на токовете.

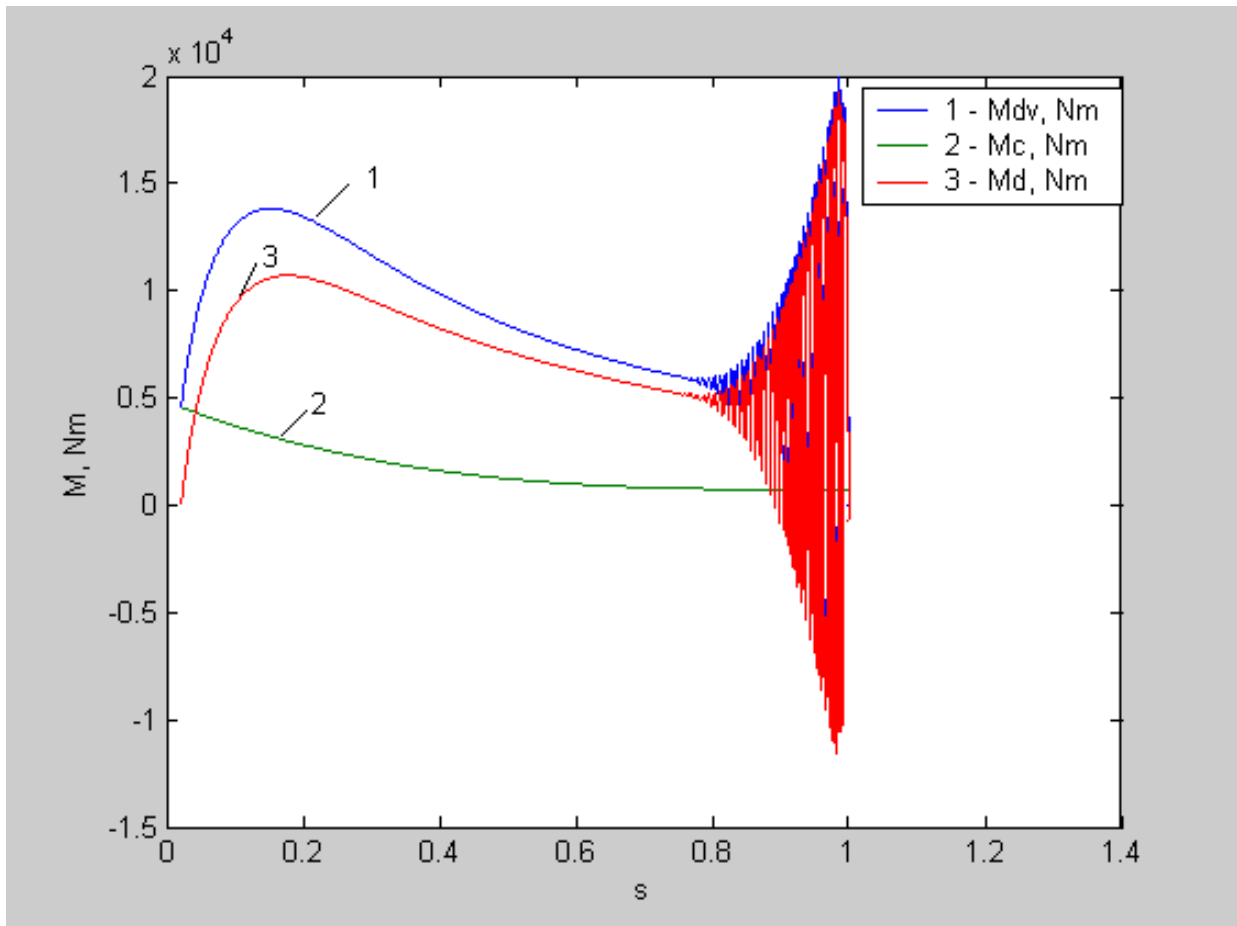


Фиг.3.

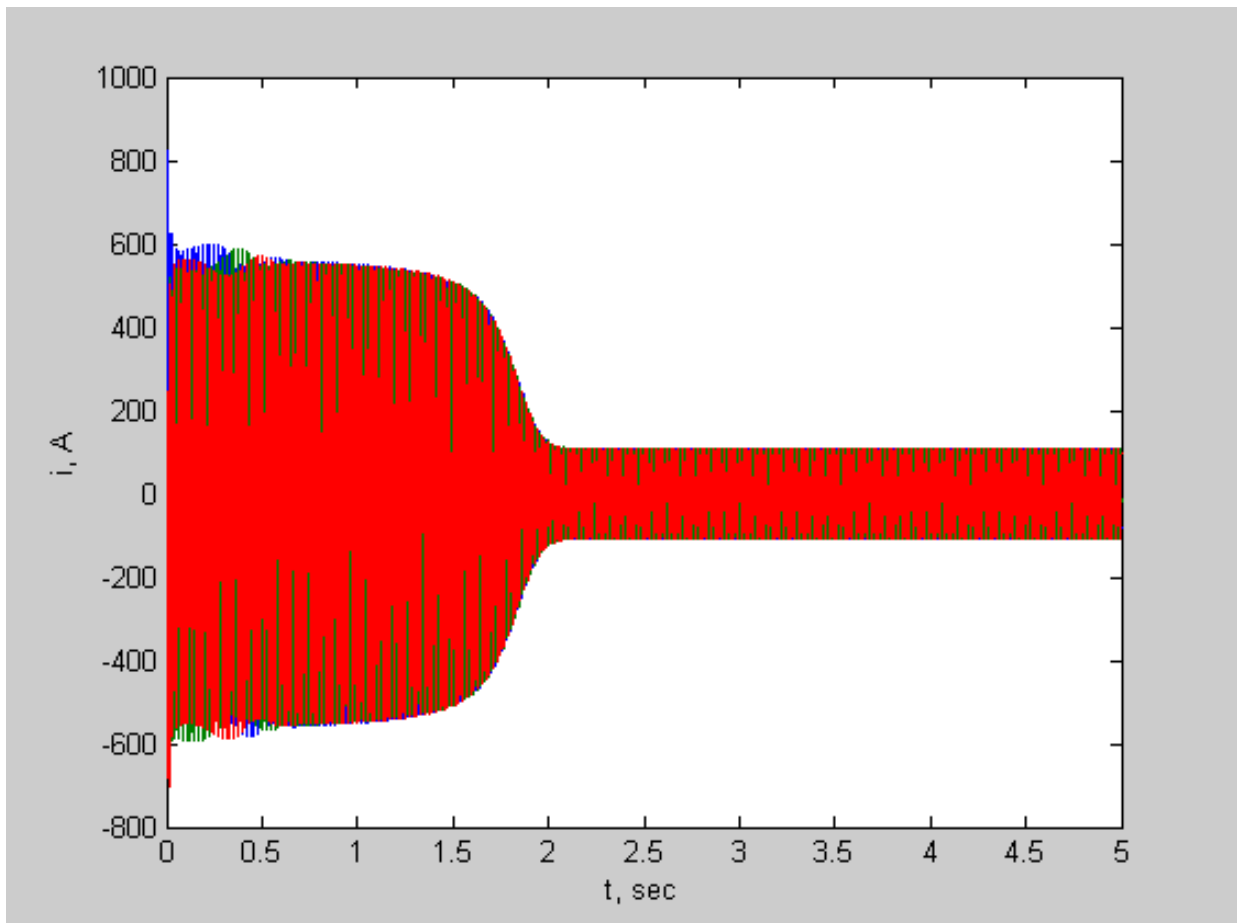
Резултатите от симулирането на ЕМА-багерна помпа са показани на фиг.4, фиг.5, фиг.6 и фиг.7.



Фиг.4.



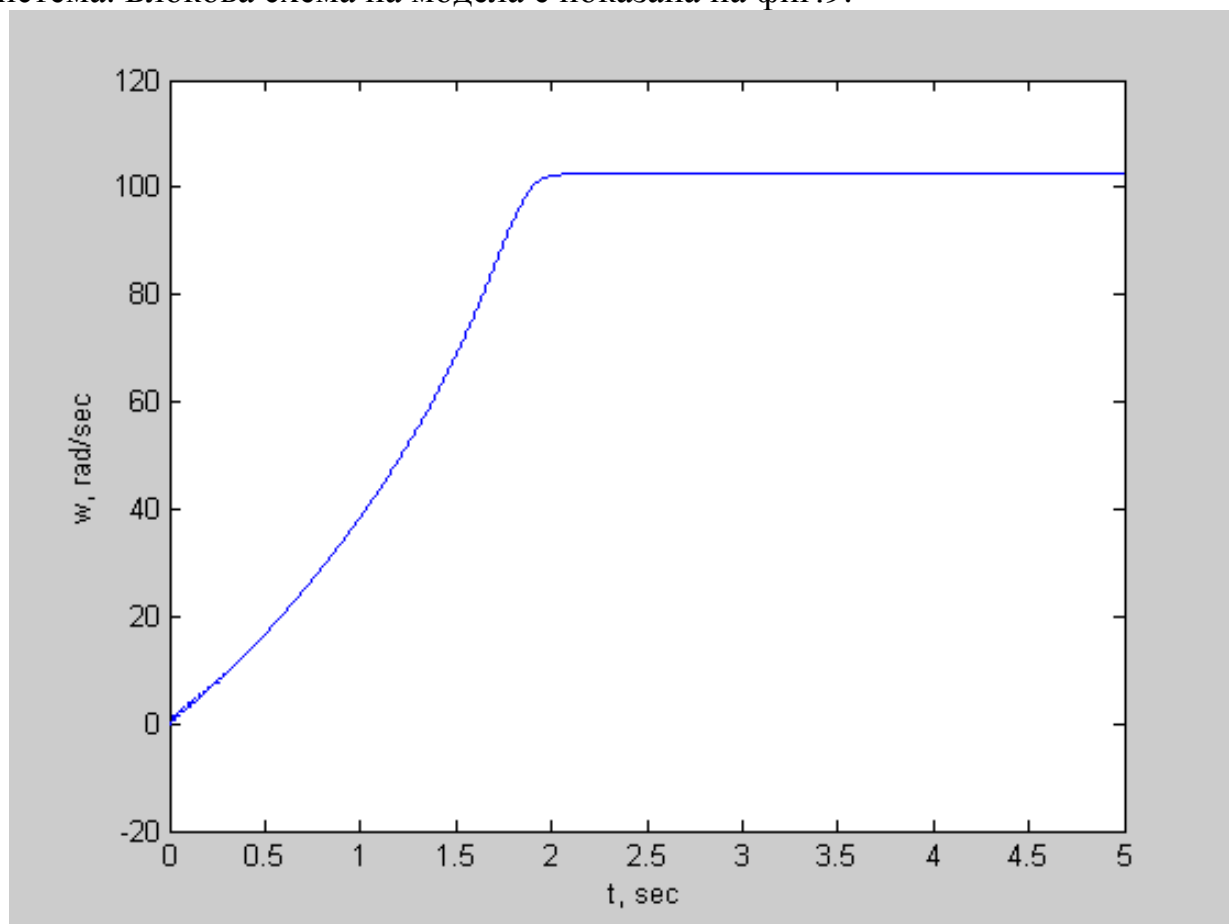
Фиг.5.



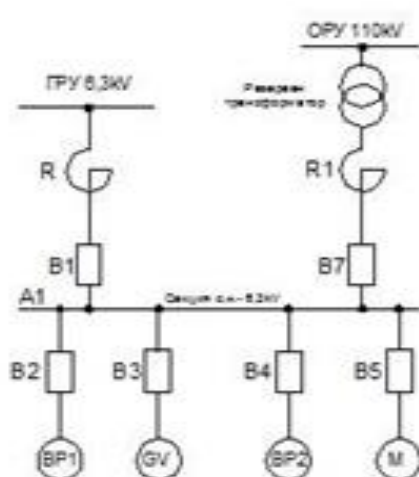
Фиг.6.

3. ТРИФАЗЕН МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ НА СЕКЦИЯ ЗА С. Н. НА I-ВИ БЛОК

Моделът се изгражда аналогично на електрическата схема (фиг.8). Системата за с.н. на I-ви блок, която се моделира, е изградена с двойна секционирана шинна система. Блокова схема на модела е показана на фиг.9.



Фиг.7.



Фиг.8.

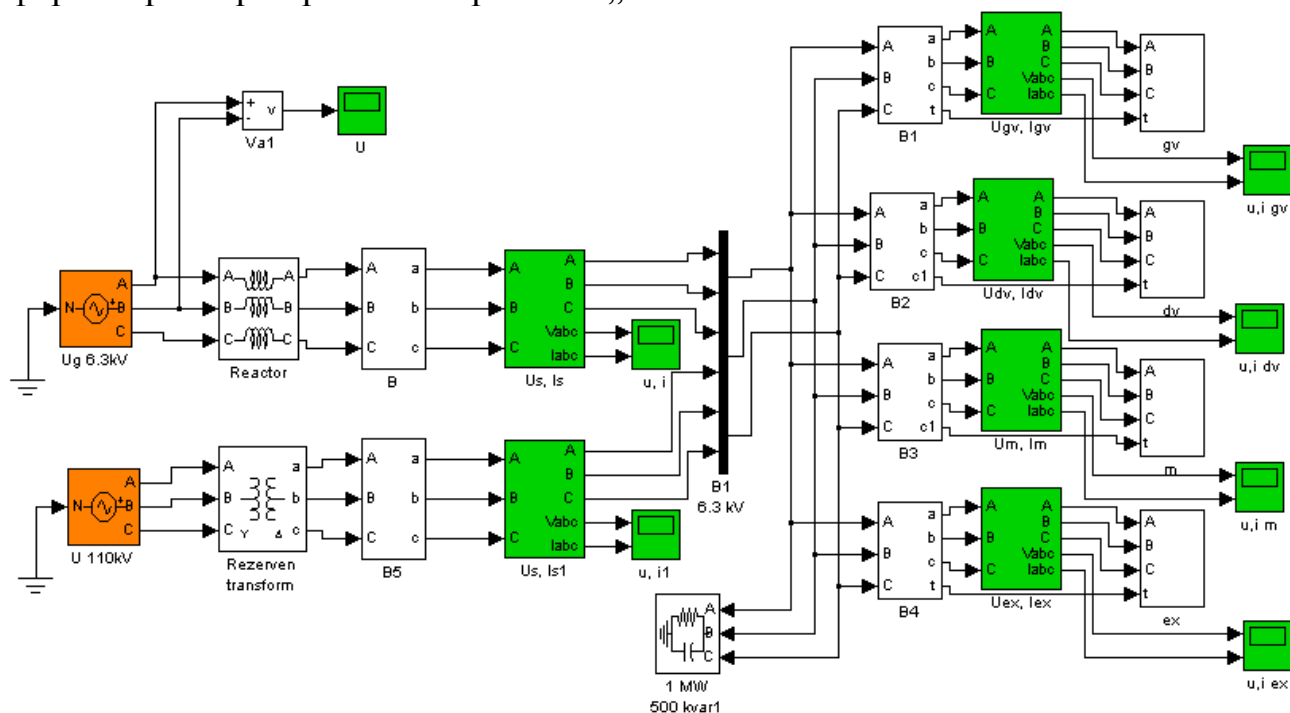
Въведени са само четири машини, тъй като при по-голям брой се изисква и по-голяма оперативна памет на компютъра.

Всички останали блокове са взети от трифазната библиотека на Simulink.

С елементите B1÷B5 са моделирани прекъсвачите.

Техните модели са управляеми по отношение на настройка на времената на включване и изключване. Източник на работно захранване е блокът „Ug 6.3kV”, а на резервно - „U 110kV”.

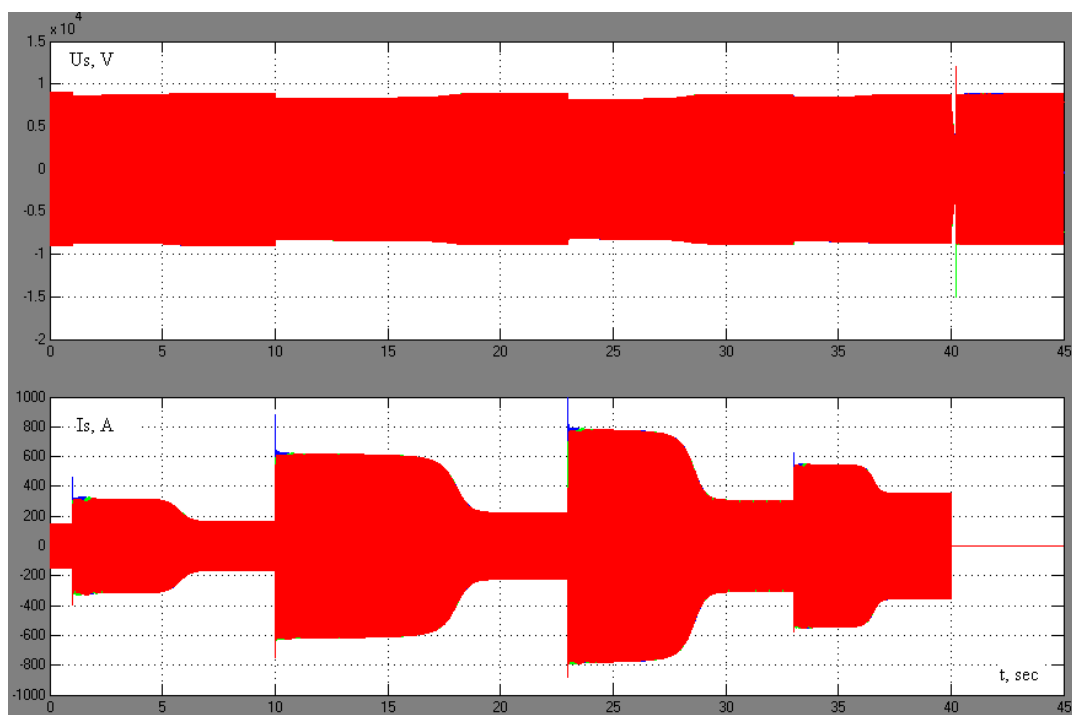
Моделирани са и реактора на работното захранване ‘Reactor’, както и трансформатора на резервното захранване „Rezerven transform”.



Фиг.9.

4. РЕЗУЛТАТИ ОТ СИМУЛАЦИЯТА НА МОДЕЛА

Представят се само някои съществени режими на работа за да се докаже работоспособността на модела (фиг.10).



Фиг.10.

Последователността на операциите при симулацията са определени от технологичния процес и са:

- ненатоварената секция при пускане на блока е захранена с напрежение 6.3kV от ГРУ през реактор;
- в 1^{вата} секунда се пуска главен вентилатор GV;
- в 10^{та} секунда се пуска 1^{ва} багерна помпа ВР;
- в 23^{та} секунда се пуска мелница М;
- в 33^{та} секунда се пуска 2^{ра} багерна помпа и секцията преминава в нормален работен режим;
- в 40^{та} секунда се реализират различни режими на работа.

Въпреки, че са с еднакви параметри багерните помпи и АД, които ги задвижват се забелязва разлика във времето за достигане на номинални обороти и съответно пусковия ток на БП2.

Това се дължи на факта, че БП2 е свързана последователно по линията след БП1 и от движението на флуида тя тръгва не от покой, а също така и не се натоварва по ток както БП1 поради същият факт.

5. ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

Резултатите от симулациите показват, че трифазният математически модел на секция 6.3 kV за с. н. отразява реално физическите процеси при работа.

С този модел могат да се симулират всички нормални и аварийни режими на работа на с. н. За по-голяма точност при изследванията е необходимо моделите на отделните агрегати да се коригират с данни и резултати от експериментални измервания. Така се получават обектно-ориентирани модели.

Режимът на работа на БП1 е с номиналната мощност и дебит, а БП2 работи на периоди като с нея се регулира нивото на резервоара и смивният канал и се подпомага работата на БП.

От направената симулация на пускането на едната багерна помпа се наблюдава, че тя достига номинални обороти за 2 секунди и след това режима ѝ на работа е постоянен при номинална мощност и номинален ток.

При БП2 пусканията за 24 часа са над 20 на брой поради факта, че с нея се регулира нивото на главният смивен канал и резервоара.

При направените проучвания за разхода на електрическа енергия, на аварийността на багерните помпи се установи, че едно добро икономическо обосновано решение ще бъде проектирането на АД с честотен регулатор. А след последващи измервания да бъде подменен и другия АД от багерната група.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Врангов Й., К. Кузманов, *Експлоатация на асинхронните двигатели в електрическите централи*, София, Техника, 1991.
- [2] Крумов А., *Моделиране и изследване на системите за собствени нужди на електрическите централи по експериментални данни*, дисертация за научна степен „доктор”, София, 2005.
- [3] Нотов П., К. Герасимов, *Преходни процеси в електроенергийните системи*, София, ТУ, 1997.
- [4] *Matlab 6.1* - demo, help, The Math-Worcs. Inc., 2000.
- [5] Техническа документация от ТЕЦ „Република”.

Автор: Иво Първанов, маг. инж., докторант, катедра “Електроенергетика”, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: gabob@abv.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: гл. ас. инж. Ангел Петлешков

МОДЕЛ ЗА ОПТИМАЛНО ПРОФИЛАКТИЧНО ОБСЛУЖВАНЕ НА ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕТО

Светлана Цветкова

Резюме: В доклада е разгледан модел за определяне на оптималния период за замяна на електрообзавеждането с ново при профилактично обслужване чрез извършване на минимални ремонти. При минималният ремонт обикновено се възстановява функционирането на началното електрообзавеждане, но скоростта му на отказ като цяло остава непроменена, такава каквато е била преди отказа.

Ключови думи: профилактично обслужване, минимален ремонт, отказ, време за безотказна работа, време за възстановяване.

OPTIMAL PREVENTIVE MAINTENANCE MODEL OF THE ELECTRICAL EQUIPMENT

Svetlana Tzvetkova

Abstract: The model for determination of the optimum time for electrical equipment replacement with new in case of preventive maintenance by minimal repairs is considered in the paper. The operation of the initial electrical equipment is recovered by the minimal repair usually. The failure rate is the same as before failure – it is not changed.

Keywords: preventive maintenance, minimal repair, failure, time to failure, recovery time.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Профилактичното обслужване може да се дефинира като съвкупност от дейности имащи за цел да контролират понижаването на нивото на надеждност и да осигурят една реална надеждност на или над зададено ниво. То включва всички планирани профилактични работи извършващи се с цел да задържат електрообзавеждането в работоспособно състояние. Плановото профилактично обслужване обхваща периодичните проверки, непрекъснато наблюдение, провеждането на минимални, текущи или основни ремонти и замяна на критични елементи или на цялото електрообзавеждане преди започването на масови откази. Всички тези дейности са планирани по-рано и имат за цел да се избегнат неочакваните откази на електрообзавеждането и да помогнат да се осигури неговата удовлетелна работа.

При по-голяма част от електрообзавеждането е много важно профилактичните работи да се провеждат предварително - преди настъпване на отказа, за да се избегнат възможни аварии и да се удължи живота му. Планираното профилактично обслужване се характеризира с честота на обслужването, престой на системата и часове работа преди провеждане на профилактичното обслужване.

Съществуват различни стратегии и модели за профилактично обслужване. Интересът към разработването на стратегии за профилактика се дължи до голяма степен на проблемите, които възникват при експлоатацията на сложни системи, които са предназначени да решават най-разнообразни производствени задачи [1, 2].

За подобряване на надеждността на електрообзавеждането е необходимо профилактичните мероприятия да се планират и извършват по точно определена схема и във всеки един момент от време да се разполага с необходимите по тип и количество резервни части.

В статията е разгледан модел за определяне на оптималния период за замяна на електрообзавеждането с ново при профилактично обслужване чрез извършване на минимални ремонти. При минималният ремонт обикновено се възстановява функционирането на началното електрообзавеждане, но скоростта му на отказ като цяло остава непроменена, такава каквато е била преди отказа.

2. МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ ЗА ПРОФИЛАКТИЧНО ОБСЛУЖВАНЕ НА ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕТО

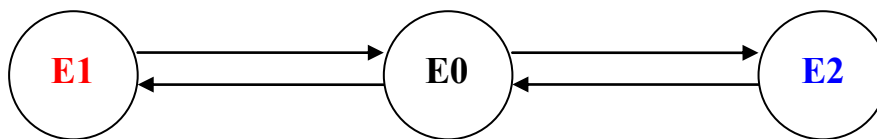
По време на експлоатация електрообзавеждането може да се намира в едно от двете състояния - работоспособно състояние или неработоспособно състояние (отказ).

Разглежда се стратегия на минимални ремонти и периодична замяна. При отказ на електрообзавеждането в случаен момент от време, преди определена възраст (отработка) T се извършва минимален ремонт, с който се възстановява работоспособността му до следващия отказ или настъпване на определената възраст (отработка) T . В случая при отказ на електрообзавеждането се провежда аварийен ремонт в обем съответстващ на минимален ремонт – освен отказалите елементи се ремонтират и най-бързо износващите се елементи. При настъпване на определена възраст (отработка) T електрообзавеждането се заменя с ново.

Ако при тази стратегия се въведе случайния процес $x(t)$, характеризиращ състоянието на електрообзавеждането в произволен момент от време t , той има следните стойности [2]:

$$x(t) = \begin{cases} E_0, & \text{ако в момент } t \text{ електрообзавеждането работи;} \\ E_1, & \text{ако в момент } t \text{ електрообзавеждането не работи поради отказ} \\ & \text{и се извършва аварийно – профилактичен минимален ремонт;} \\ E_2, & \text{ако в момент } t \text{ се извършва замяна на електрообзавеждането.} \end{cases}$$

Диаграмата на преходите от състояние в състояние на този процес $x(t)$ е показана на фиг.1.



Фиг.1.

Критерий за оптимизация е минимум на сумарните очаквани разходи, като се приема, че:

- след отказ на електрообзавеждането се провежда минимален ремонт, като времето за извършването му е пренебрежимо малко;
- след определена възраст (отработка) T електрообзавеждането се заменя с ново, като времето за извършване на замяната е много малко;
- времето, през което се извършва замяна на електрообзавеждането има експоненциално разпределение с интензивност λ , функция на разпределение $F(t)$ и плътност на разпределение $f(t)$;
- времето за възстановяване след отказ (времето за провеждане на минимален ремонт) има функция на разпределение $Z(t)$;
- c_3 са разходите за замяна на електрообзавеждането с ново;
- c_{mp} са разходите за извършване на минимален ремонт на електрообзавеждането, които са по-малки от разходите за замяна с ново.

Времето на провеждане на минималните ремонти е случайна величина, тъй като отказите възникват в случайни моменти от време, под влияние на различни фактори – условия на експлоатация, натоварване, квалификация на обслужващия персонал, дисциплина и др. [3].

Тъй като замяната на електрообзавеждането с ново се извършва след определена възраст (отработка) $T, 2T, 3T, \dots$, то очакваните разходи за поддържане за един цикъл са [4]

$$c_{mp} Z(T) + c_3. \quad (1)$$

Ако разглежданият период от време t е достатъчно голям и изцяло побира първите k цикъла и свършва през $(k+1)$ цикъл, то сумарните разходи за поддържане до започване на $(k+1)$ цикъл са

$$k (c_{mp} Z(T) + c_3) \quad (2)$$

Разходите за поддържане през последния $(k+1)$ цикъл се получат като

$$c_{mp} Z(t - k T). \quad (3)$$

Тъй като времената, в които се заменя електрообзавеждането с ново в разглеждания достатъчно голям период от време t имат функция на разпределение $f(t)$, то очакваните сумарни разходи могат да се определят с израз

$$C(T) = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{kT}^{(k+1)T} \{k [c_{mp} Z(T) + c_3] + c_{mp} Z(t - kT)\} f(t) dt \quad (4)$$

Тъй като е трудно да се определи оптималният период на замяна на електрообзавеждането с ново при общо разпределение на времето за отказ, то се разглежда разпределение на Вейбул на времето за отказ с функция на разпределение

$$Z(T) = \alpha t^\beta, \quad (5)$$

където α и β са параметри на разпределението на Вейбул.

Тогава за сумарните очаквани разходи се получава

$$C(T) = \sum_{k=0}^{\infty} k [c_{mp} Z(T) + c_3] \int_{kT}^{(k+1)T} \lambda e^{-\lambda t} dt + \sum_{k=0}^{\infty} \int_{kT}^{(k+1)T} c_{mp} Z(t - kT) \lambda e^{-\lambda t} dt \quad (6)$$

След заместване на (5) в (6) се получава

$$C(T) = \sum_{k=0}^{\infty} k [c_{mp} \alpha T^\beta + c_3] \int_{kT}^{(k+1)T} \lambda e^{-\lambda t} dt + \sum_{k=0}^{\infty} \int_{kT}^{(k+1)T} c_{mp} \alpha (t - kT)^\beta \lambda e^{-\lambda t} dt \quad (7)$$

или

$$C(T) = \sum_{k=0}^{\infty} k [c_{mp} \alpha T^\beta + c_3] [e^{-k\lambda T} - e^{-(k+1)\lambda T}] + c_{mp} \alpha \sum_{k=0}^{\infty} \int_{kT}^{(k+1)T} (t - kT)^\beta \lambda e^{-\lambda t} dt \quad (8)$$

След преобразувания на (8) за сумарните очаквани разходи се получава

$$C(T) = \frac{(c_{mp} \alpha T^\beta + c_3) + c_{mp} \alpha \lambda e^{\lambda T} \int_0^T t^\beta e^{-\lambda t} dt}{e^{\lambda T} - 1} \quad (9)$$

Използвайки математическият модел (9) може да се определи оптималното време T_{opt} за профилактично обслужване, като критерият за оптимизиране е минимум на сумарните очаквани разходи.

За целта се определя първата производна на сумарните очаквани разходи, т.е

$$\frac{dC(T)}{dT} = 0 \quad (10)$$

или

$$\frac{\beta T^{\beta-1}(1-e^{-\lambda T})}{\lambda} - T^{\beta} e^{-\lambda T} - \lambda \int_0^T t^{\beta} e^{-\lambda t} dt = \frac{c_3}{c_{mp} \alpha} \quad (11)$$

Нека лявата част на (11) се означаи с

$$A(T) = \frac{\beta T^{\beta-1}(1-e^{-\lambda T})}{\lambda} - T^{\beta} e^{-\lambda T} - \lambda \int_0^T t^{\beta} e^{-\lambda t} dt \quad (12)$$

Ако $\lambda \rightarrow 0$, то

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} A(T) = (\beta - 1)T^{\beta} \quad (13)$$

Тогава (11) може да се запише във вида

$$(\beta - 1)T^{\beta} = \frac{c_3}{c_{mp} \alpha} \quad (14)$$

и за оптималното време се получава

$$T_{opt} = \left[\frac{c_3}{c_{mp} \alpha (\beta - 1)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (16)$$

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По време на експлоатация, интензивността на отказ на електрообзавеждането се увеличава и може да се окаже, че след някакъв срок на експлоатация икономически е по-целесъобразно то да се замени с ново, вместо да се провежда периодично профилактично обслужване.

Разработеният математически модел (9) дава възможност за планиране на периода, през който да се осъществява замяна на електрообзавеждането с ново, а между отделните замени да се извършват минимални ремонти за възстановяване на работоспособността му до следващата замяна.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Elsayed E., Reliability Engineering, Addison Wesley Longman Inc., 1996.
- [2] Цанев Ц., Техническа експлоатация на електрически уредби, София, Сиела, 1998.

[3] Цветкова С., „Оптимална замяна на електрическите уредби при профилактично обслужване чрез минимални ремонти”, Енергиен форум’2007, Сборник доклади том II, 13-16 юни 2007, Варна, стр. 433-436.

[4] Yun W. Y., C. H. Choi, “Optimum replacement intervals with random time horizon”, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 6, №4, 2000, pp. 269-274.

Автор: Светлана Цветкова, доц. д-р, катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail address: stzvet@tu-sofia.bg.

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: проф. д-р инж. Стоян Стоянов

ОТНОСНО ТОЧНОСТТА ПРИ ИЗМЕРВАНЕ НА СВЕТЛИНЕН ПОТОК НА СВЕТОДИОДНИ МОДУЛИ С ИНТЕГРАЛЕН ФОТОМЕТЪР

Ангел Пачаманов, Камелия Николова, Татяна Чуваткина, Евгения Гусева

Резюме: При измерване на поток на светлинни източници с интегрален фотометър точността на резултата зависи от качеството на дифузно отразяващото покритие и съгласуваността на спектрална чувствителност на използвания фотоприемник $s'(\lambda)$ с тази на дневното човешко зрение $V(\lambda)$. В статията е разгледано влиянието на двата фактора върху точността на резултата от измерването при сравнение на резултатите с тези, получени за еталонна нажежаема лампа от тип "А".

Ключови думи: съгласувани по $V(\lambda)$ фотоприемници, спектрален коефициент на отражение на покрития за кълбов фотометър

THE ACCURACY IN MEASUREMENT OF THE LUMINOUS FLUX OF LED MODULES WITH SPHERICAL PHOTOMETER

Angel Pachamanov, Kameliya Nikolova, Tatyana Chuvatkina, Evgeniya Guseva

Summary: When measuring the flow of light sources with spherical photometer accuracy of the result depends on the quality of diffuse reflective coating and consistency of the spectral sensitivity of the used photoreceiver $s'(\lambda)$ to that of the daily human vision $V(\lambda)$. The article discussed the influence of two factors on the uncertainty of the measurement result by comparing the results with those obtained for standard filament lamp of the type "A".

Keywords: aligned on $V(\lambda)$ photosensors, spectral reflectance coatings spherical photometer.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Зрителното усещане при високи нива на яркостта се определя от т.н. фотопичен поток, определен по формулата:

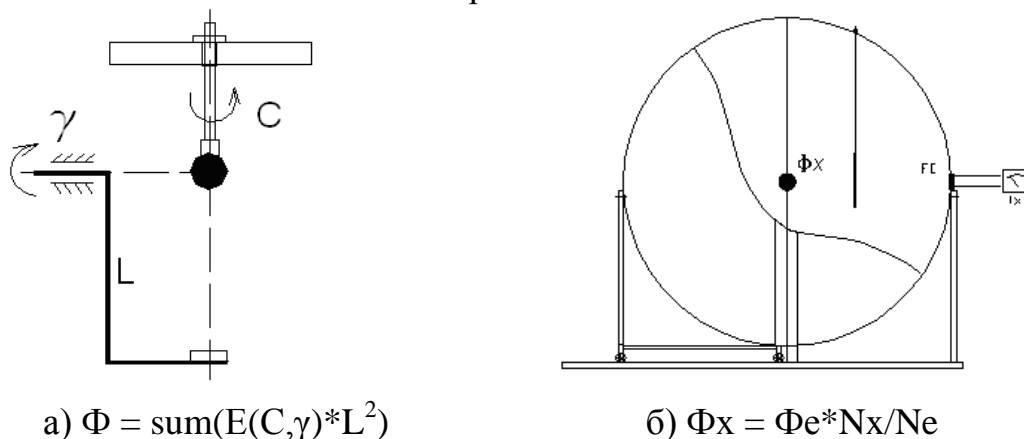
$$\Phi = K_m \int_{380nm}^{780nm} \varphi(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \text{ [lm]}, \quad (1)$$

където $K_m=683$ [lm/W] е максималната спектрална светлинна ефективност на дневното човешко зрение при дължина на вълната $\lambda_m=555$ nm (монохроматично излъчване с мощност 1/683 W, излъчено при температурата на стопяване на платината 2042 K при атмосферно налягане 101325 Pa в пространствен ъгъл 1

стерадиан се равнява на светлинен поток 1 лумен); $\varphi(\lambda)=d\Phi_e/d\lambda$ [W/nm] е спектрална интензивност на лъчистия поток Φ_e в диапазона 380-780 nm; $V(\lambda)$ е относителна спектрална чувствителност на дневното човешко зрение, $d\lambda$ – елементарен нарастък на дължината на вълната в диапазона 380-780nm.

Светлинният поток на източниците на светлина се получава достатъчно точно чрез измерване на разпределението на пространствена плътност на светлинния поток $I(C,\gamma)=d\Phi/d\Omega(C,\gamma)\approx E(C,\gamma)*L^2$ (интензитет), чрез т.н. разпределителен фотометър (фиг.1.а) и последващо числено интегриране на тялото на разпределение на интензитета по метода на зоналните потоци [1].

За бързо измерване на светлинния поток се използват кълбови (интегрални) фотометри. Фотометърът представлява куха сфера с радиус r (фиг.1.б), вътрешната повърхност на която е покрита с бяло неселективно дифузно-отразяващо покритие (бариев сулфат) с висок интегрален коефициент на отражение за видимата част на спектъра. Светлинният източник с поток Φ [lm] се поставя в центъра на сферата, а на разстояние $r/3$ от източника има бял екран, предотвратяващ попадането на директни лъчи в отвора за фотоприемника FE. Фотоприемникът FE трябва да бъде с много добре коригиран по $V(\lambda)$ фотоелемент, за да е изпълнено условие (1). Второ изискване на условие (1) е попадналият върху приемната повърхност на фотоприемника поток след многократни отражения да не е претърпял промени по отношение на спектралния си състав.



а) $\Phi = \text{sum}(E(C,\gamma)*L^2)$

б) $\Phi_x = \Phi_e * N_x / N_e$

Фиг.1. Разпределителен (а) и интегрален фотометър (б)

Тогава за светлинния поток на измервания източник може да се съди по индиректната компонента на осветеността:

$$E_{\text{индир}} = \frac{\Phi}{4.\pi.r^2} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} \tag{2}$$

Първоначално в сферата се поставя еталон на светлинен поток с известна стойност Φ_e [lm]. Отчитат се показания N_e . След това във сферата се поставя източникът, чийто поток Φ_x е обект на измерване. Отчитат се показания на фотоприемника N_x . Стойността на потока на изследвания източник е $\Phi_x = \Phi_e * N_x / N_e$.

2. ВЛИЯНИЕ НА СТОЙНОСТТА НА ИНТЕГРАЛНИЯ КОЕФИЦИЕНТ НА ОТРАЖЕНИЕ НА ПОКРИТИЕТО НА ФОТОМЕТЪРА ВЪРХУ ТОЧНОСТТА НА ИЗМЕРВАНЕ НА ПОТОКА

Ако се приеме, че светлинният източник е точков, средносферичният му интензитет е $I_{\text{ср.сф.}} = \Phi / (4\pi)$. Директната компонента върху елементарна повърхност от вътрешната част на кълбото може да се изчисли по закона на квадратичното отклонение:

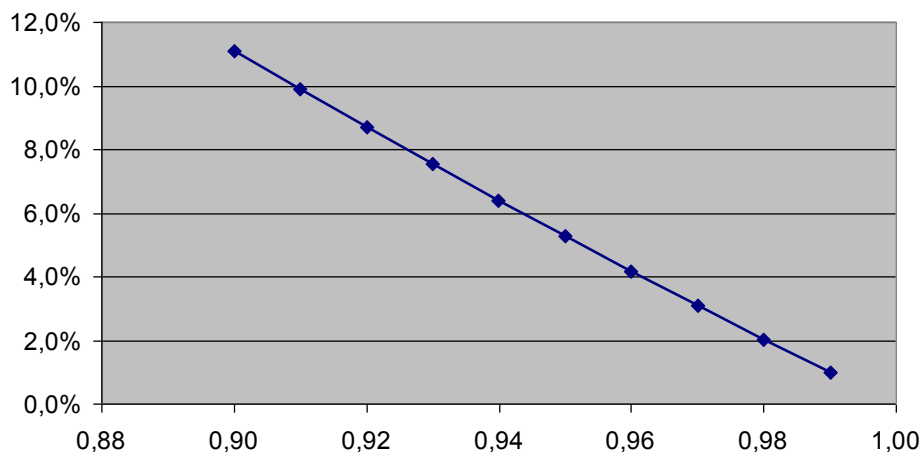
$$E_{\text{дир}} = I_{\text{ср.сф.}} / r^2 = \frac{\Phi}{4\pi} / r^2 \quad (3)$$

За да се осигури зададена точност на резултата от измерването на потока, директната компонента на осветеността трябва да е достатъчно по-малка от дифузната, тъй като само тогава дифузната компонента на осветеността е пропорционална на светлинния поток (уравнение 2). За светлинен източник с $\Phi=1000$ lm и радиус на кълбото 1 м, в таблица 1 е показано какъв трябва да бъде интегралният коефициент на отражение, за да се постигне желаната точност при измерването на потока.

Таблица 1.

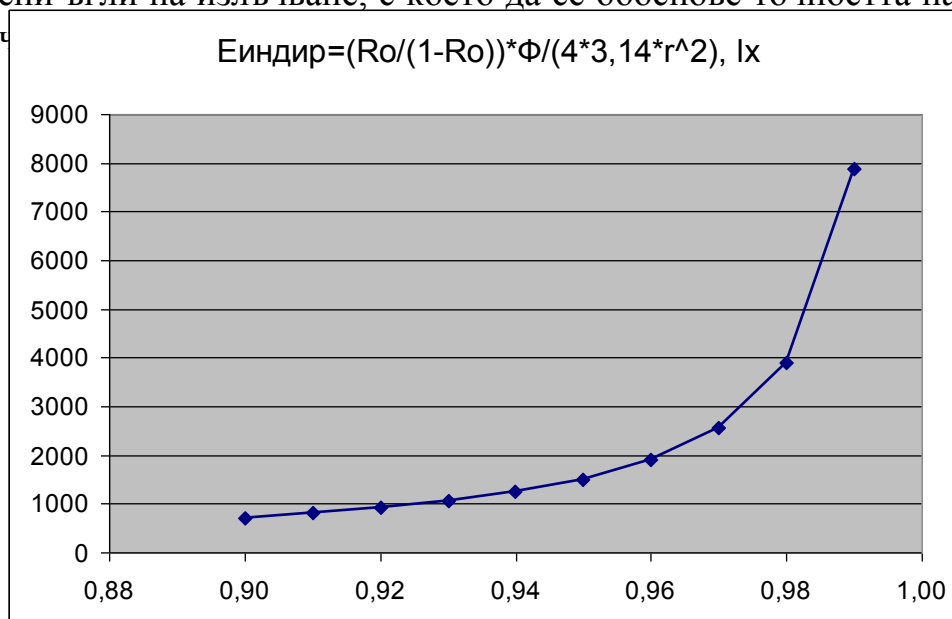
Необходим коефициент на отражение на покритието на кълбото за постигане на желана точност при измерването на светлинен поток

Φ , lm	r, m	$I_{\text{ср.сф.}} = \frac{\Phi}{4\pi}$, cd	$\rho_{\text{инт}}$	$E_{\text{дир}} = \frac{\Phi}{4\pi} / r^2$, lx	$E_{\text{индир}} = \frac{\Phi}{4\pi \cdot r^2} \cdot \frac{\rho}{1-\rho}$, lx	$\frac{E_{\text{индир}}}{E_{\text{дир}}}$, %
1000	1	79,58	0,90	79,58	716,20	11,1
1000	1	79,58	0,91	79,58	804,62	9,9
1000	1	79,58	0,92	79,58	915,14	8,7
1000	1	79,58	0,93	79,58	1057,24	7,5
1000	1	79,58	0,94	79,58	1246,71	6,4
1000	1	79,58	0,95	79,58	1511,97	5,3
1000	1	79,58	0,96	79,58	1909,86	4,2
1000	1	79,58	0,97	79,58	2573,01	3,1
1000	1	79,58	0,98	79,58	3899,30	2,0
1000	1	79,58	0,99	79,58	7878,17	1,0



Фиг. 2. Точност на измерване на потока като функция на интегралния коефициент на отражение на покритието на интегралния фотометър

Трябва да се отбележи, че тази точност е валидна само за точков светлинен източник. Повечето светодиоди излъчват лъчистия си поток през първична оптика, при което табл.1 не отразява реалното състояние на нещата. Чрез моделиране на светлоразпределението им е възможно да се получат подобни таблици при зададени ъгли на излъчване, с което да се обоснове точността на измерване при различ



Фиг.3. Нарастване на индиректната компонента на осветеността при промяна на интегралния коефициент на отражение на покритието от 0,9 до 0,99 и лампа с поток 1000 lm при кълбов фотометър с радиус 1 m (по (2))

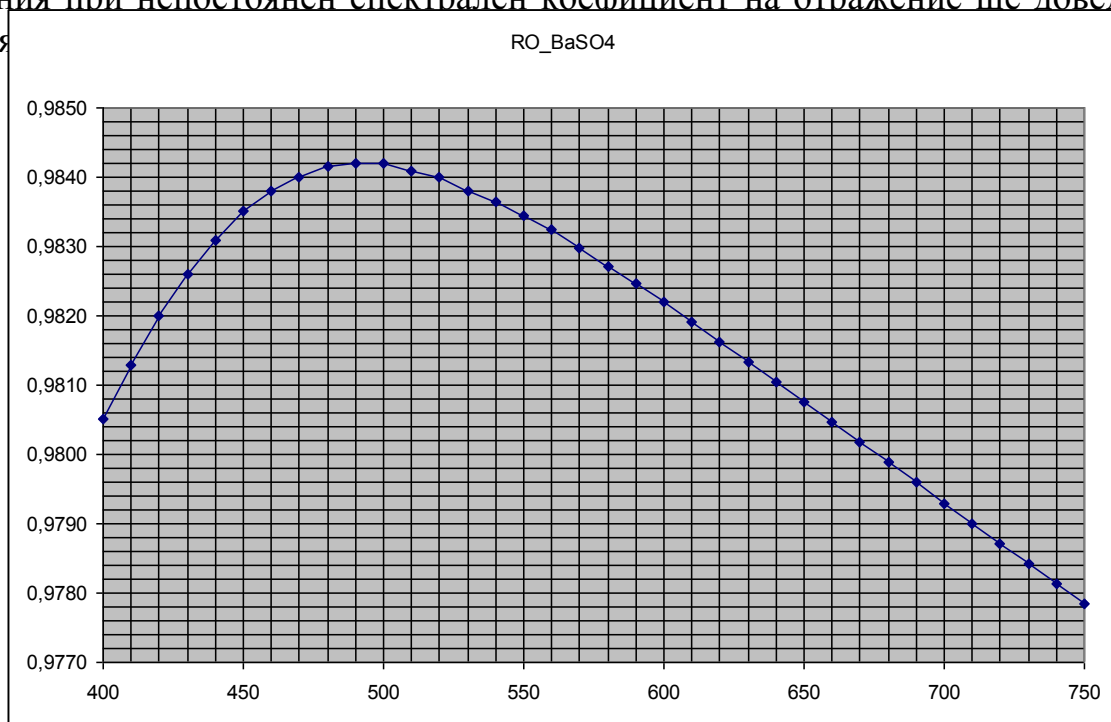
Таблица 2.

Спектрални коефициенти на отражения на покрития с бариев сулфат [2]

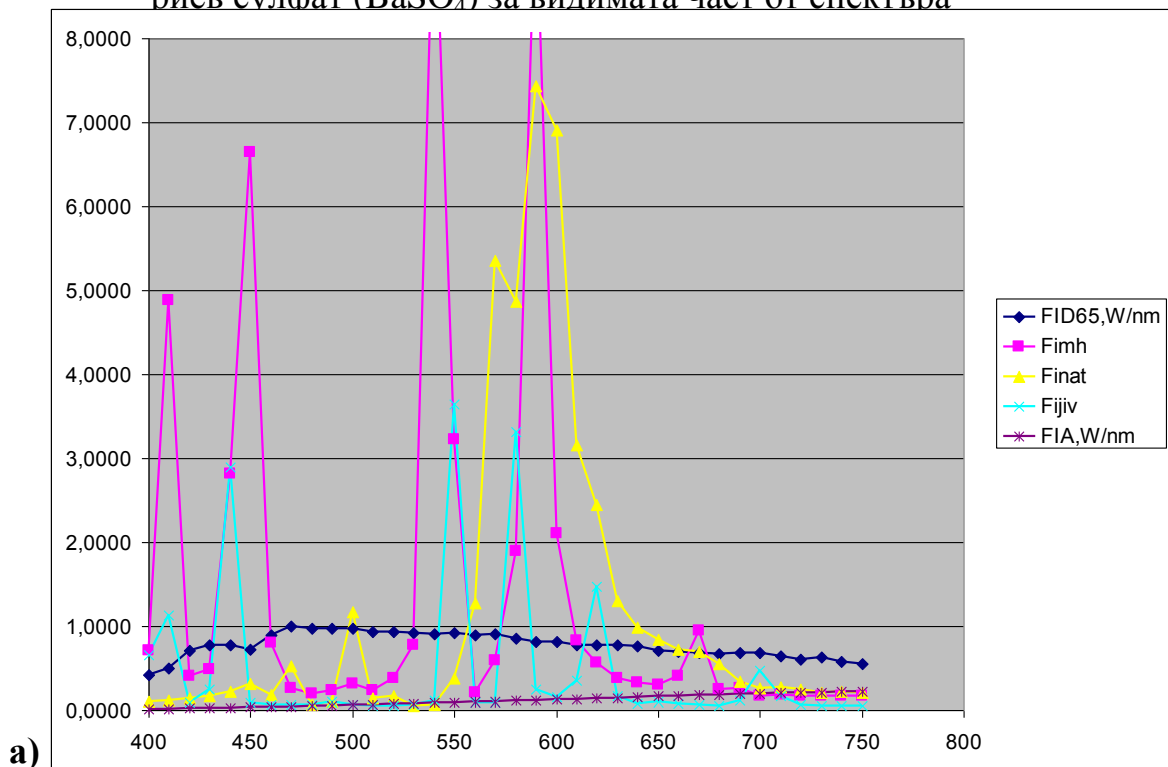
Дължина на вълната λ , nm	Коефициент на отражение $\rho(\lambda)$, %	Дължина на вълната λ , nm	Коефициент на отражение $\rho(\lambda)$, %	Дължина на вълната λ , nm	Коефициент на отражение $\rho(\lambda)$, %
250	91.29	1050	96.53	1850	91.14
300	95.03	1100	96.41	1900	84.86
350	96.80	1150	96.10	1950	80.91
400	98.05	1200	95.70	2000	84.54
450	98.35	1250	95.57	2050	87.20
500	98.42	1300	95.30	2100	87.86
550	98.35	1350	94.90	2150	89.51
600	98.22	1400	93.31	2200	88.06
650	98.11	1450	90.91	2250	86.66
700	98.04	1500	91.45	2300	84.51
750	97.75	1550	92.10	2350	83.76
800	97.64	1600	92.27	2400	82.75
850	97.53	1650	92.60	2450	81.07
900	97.33	1700	92.16	2500	78.68
950	96.91	1750	91.50		
1000	96.69	1800	91.01		

3. КОМПЛЕКСНО ВЛИЯНИЕ НА СПЕКТРАЛНИЯ КОЕФИЦИЕНТ НА ОТРАЖЕНИЕ НА ПОКРИТИЕТО НА ФОТОМЕТЪРА ВЪРХУ ТОЧНОСТТА НА РЕЗУЛТАТА

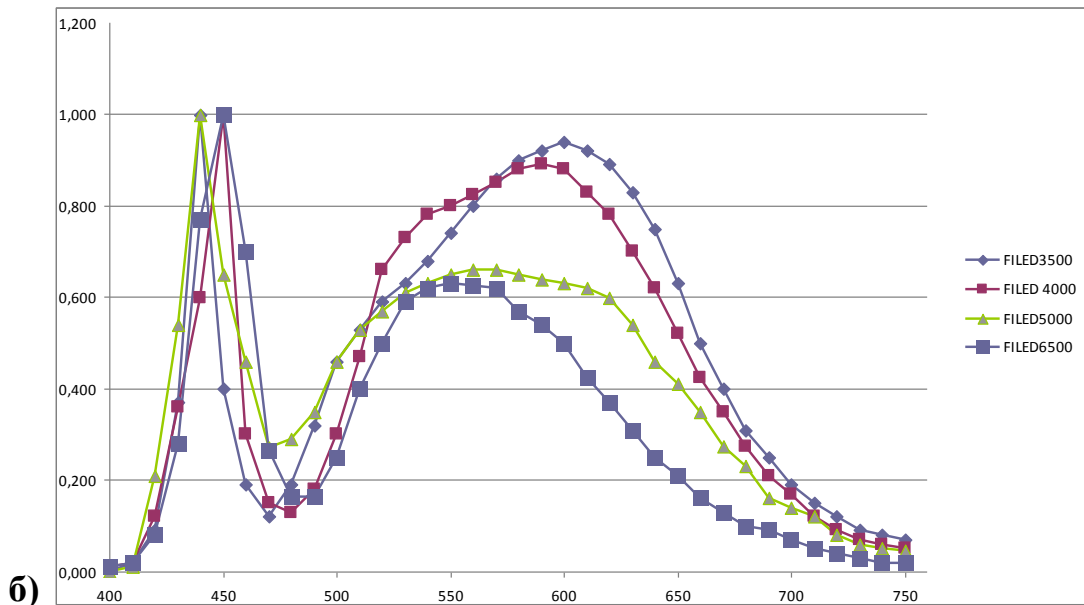
В табл.2 и на фиг.4 са показани стойностите на спектралния коефициент на отражение на покрития от бариерен сулфат ($BaSO_4$) [2]. Очевидно е, че стойността на интегралния коефициент ще определи броя на многократните отражения, с което точността на измерване се увеличава. От друга страна, многократните отражения при непостоянен спектрален коефициент на отражение ще доведат до промяна



Фиг.4. Изменение на спектралния коефициент на отражение на покрития от бариерен сулфат ($BaSO_4$) за видимата част от спектъра

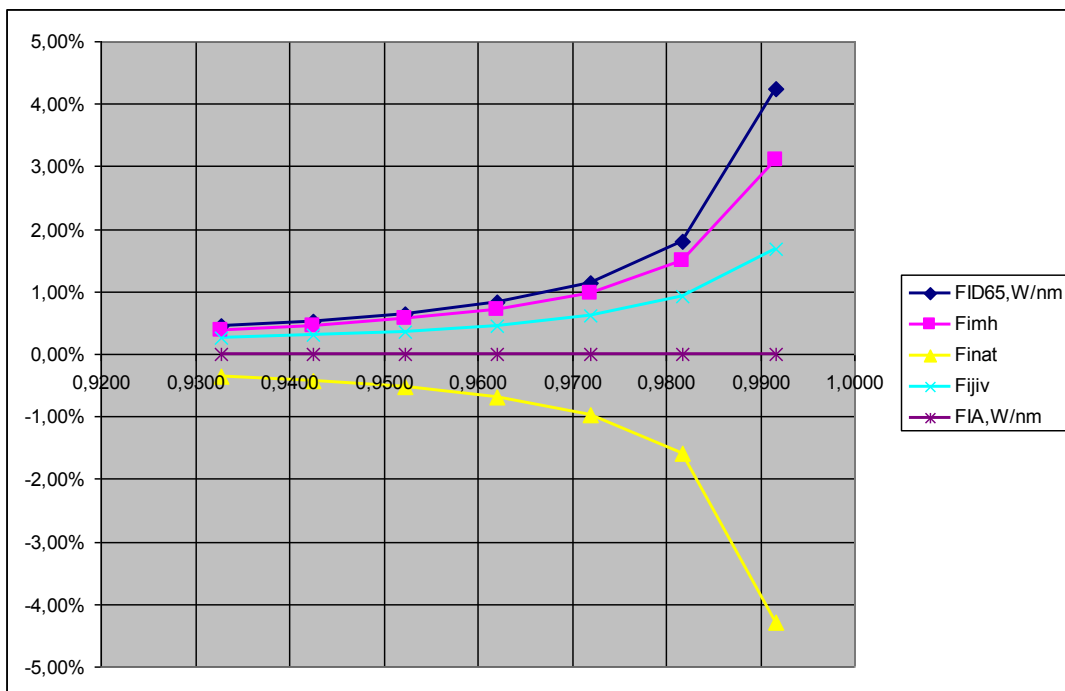


а)

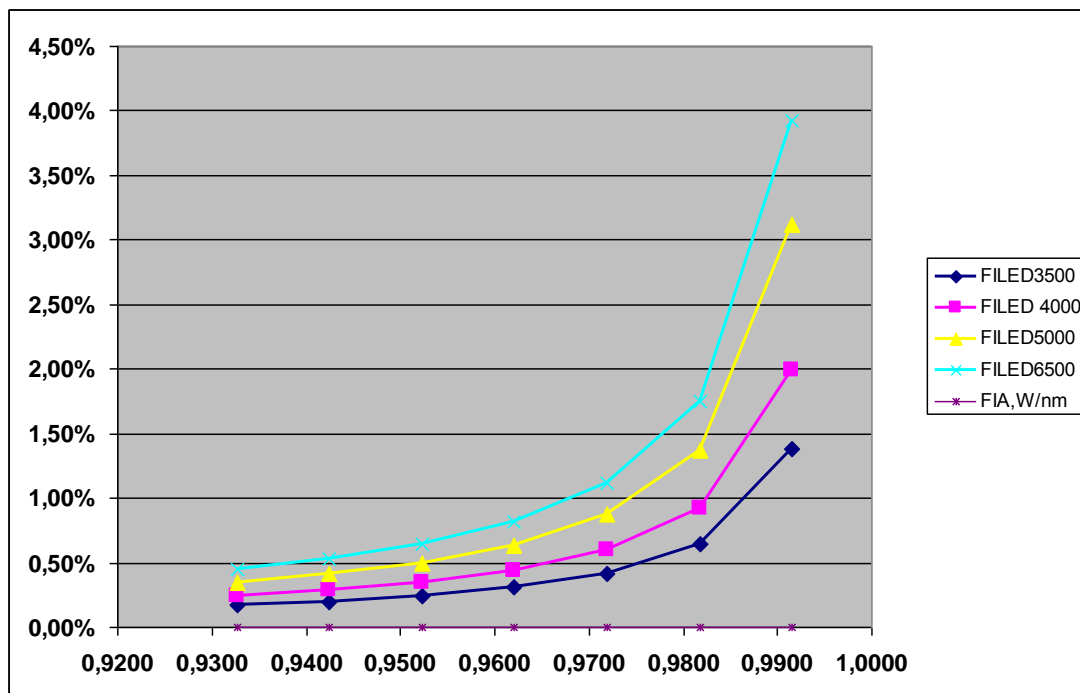


Фиг.5. Спектрална интензивност на потока на газоразрядни (а) и LED (б) светлинни източници за 1 lm светлинен поток

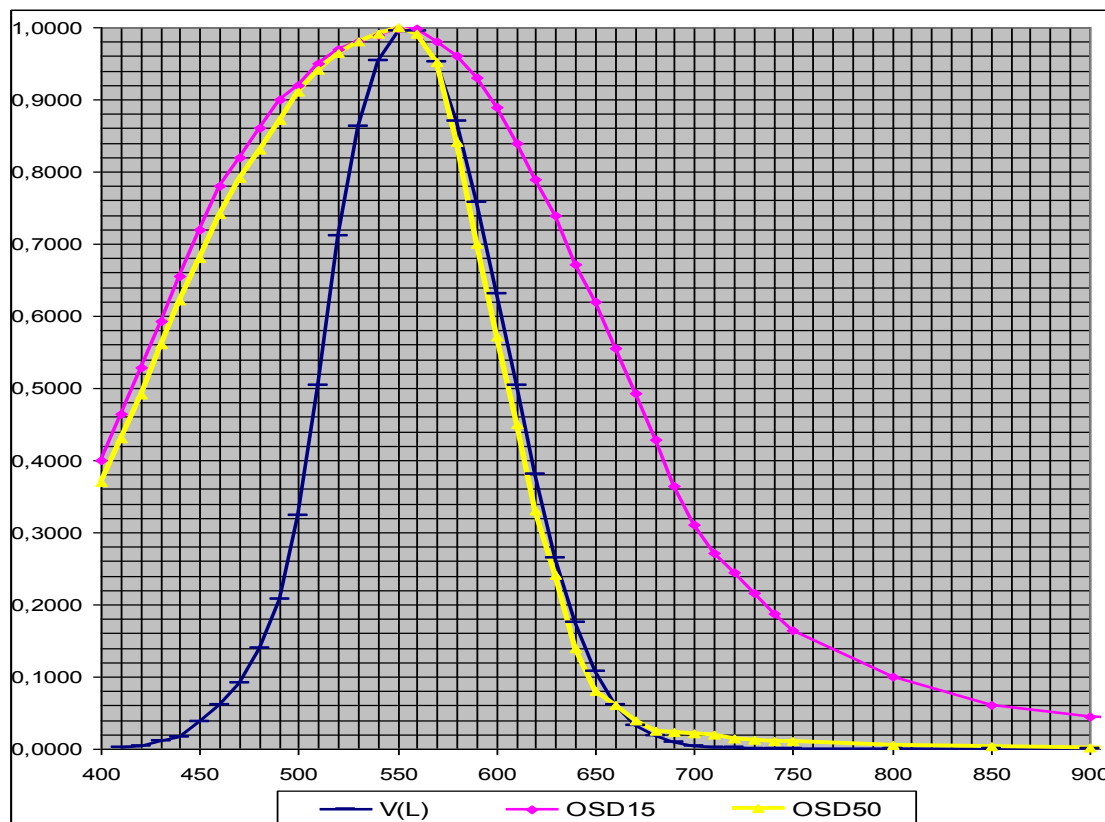
Информация с каква грешка се измерва светлинният поток на светлинни източници с различен спектрален състав (фиг.5) и еднакъв светлинен поток (1 lm) са показани на фиг.6 и фиг.7 (спрямо показанията за нажежаема лампа със същия светлинен поток). Подобно изследване е направено за втория тип светлинни източници (светодиодите от фиг.5б) при използване на частично коригирани по $V(\lambda)$ фотоприемници (фиг.8) на фирмата CENTRONIC [3]. Допусканата грешка е показана на фиг.9 и фиг.10. Данните са резултат от компютърно моделиране на зададените постановки, а не от измерване.



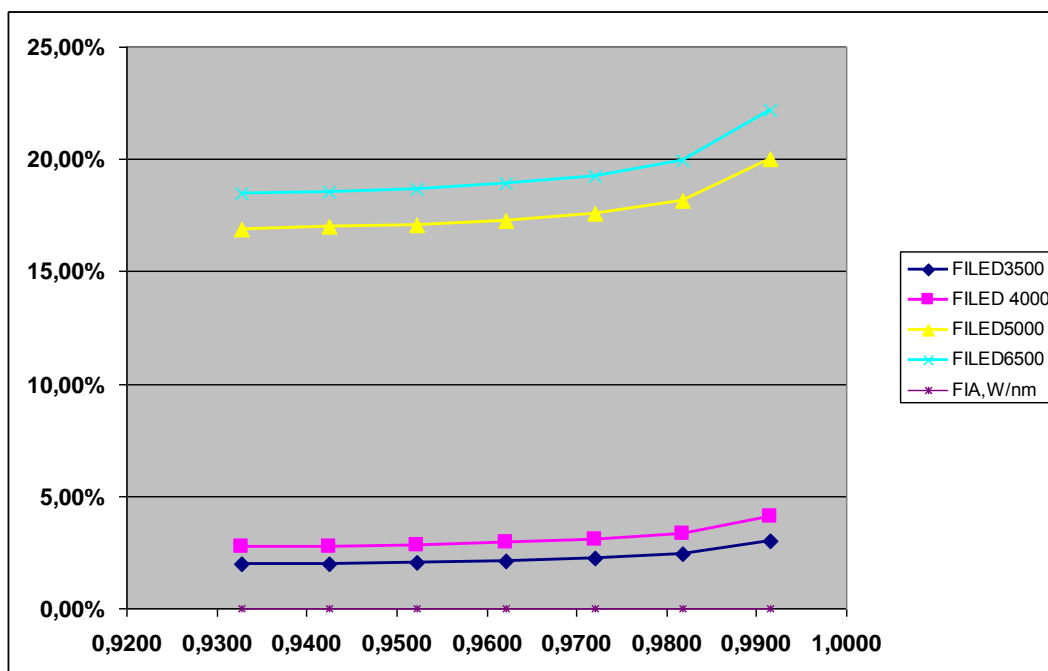
Фиг.6. Отклонение на потока на газоразрядни лампи в проценти спрямо този за нажежаема лампа тип “А” при промяна на интегралния коефициент на отражение на покритието и много добре коригиран по $V(\lambda)$ фотоприемник



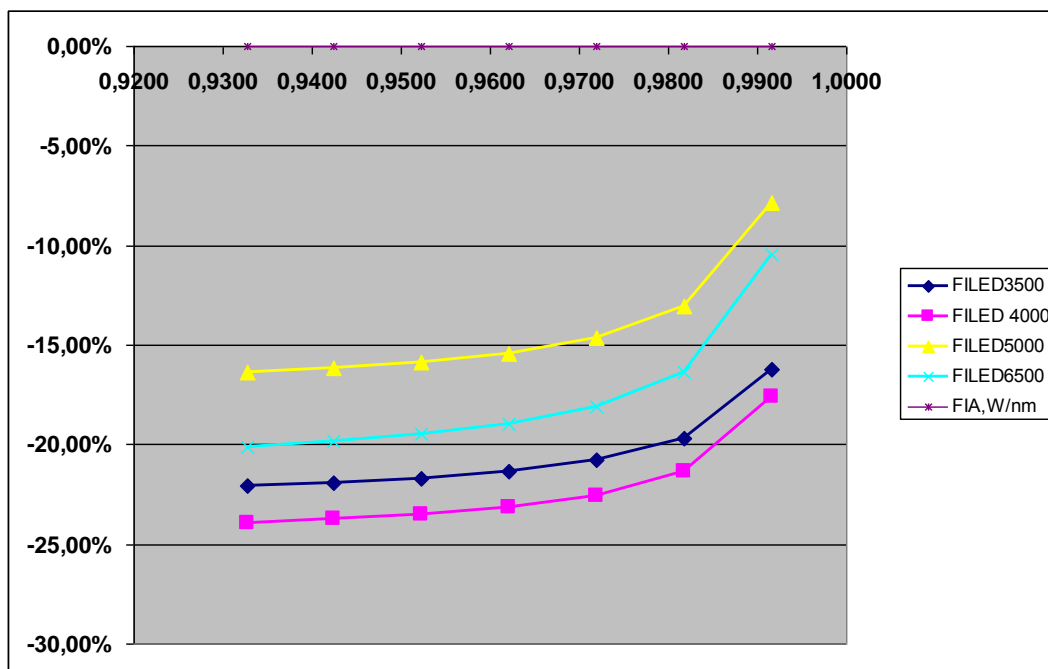
Фиг.7. Отклонение на потока на LED в проценти спрямо този за нажежаема лампа тип “А” при промяна на интегралния коефициент на отражение на покритието и много добре коригиран по $V(\lambda)$ фотоприемник



Фиг.8. Относителна спектрална чувствителност на дневното човешко зрение и на частично коригирани откъм дълги и къси вълни фотоеlementи на фирмата CENTRONIC (OSD15 и OSD50)



Фиг.9. Отклонение на потока на LED в проценти спрямо този за нажежаема лампа тип “А” при промяна на интегралния коефициент на отражение на покритието и частично коригиран по $V(\lambda)$ фотоприемник (OSD50, фиг.8)



Фиг.10. Отклонение на потока на LED спрямо този за нажежаема лампа тип “А” при промяна на интегралния коефициент на отражение на покритието и частично коригиран по $V(\lambda)$ фотоприемник (OSD15, фиг.8)

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от компютърната симулация на промяната на двата фактора, оказващи влияние на точността на измерване на светлинен поток на източници в кълбов фотометър (интегрален коефициент на отражение и добра съгласуваност по $V(\lambda)$ на използвания фотоприемник), потвърдиха недвусмислено, че освен много добре коригиран по $V(\lambda)$ фотоприемник, изискваната точност може да се постигне само чрез използване на еталони на светлинен поток с близък до изследваните светлинни източници спектрален състав.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Василев Н. И., А. С. Пачаманов. *Автоматизированные гониофотометрические системы*. Сп. "Светотехника", N 12/1990, Москва, стр. 19-21
- [2] www.eniseylab.ru Универсальное отражательное покрытие сульфата бария (BaSO4) с возможным отражение свыше 98% от 300 нм до 1200 нм
- [3] <http://uk.farnell.com/centronic/osd50-e/photodiode-eye-response/dp/548753>

Автори: Ангел Саракинов Пачаманов, професор д-р инж., катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт”, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: pach@tu-sofia.bg, р-л НИИКЛ “Осветителна техника” (www.onilot.com); Камелия Николова, гл. асистент д-р инж., катедра „Обща електротехника, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София; Татьяна Александровна Чуваткина и Евгения Дмитриевна Гусева, аспирантки в Светотехнически факултет на НИДУ „Н.П. Огарев“, Мордовия - Русия”

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Захари Иванов

ВЛИЯНИЕ НА ОГЛЕДАЛОТО НА РАЗПРЕДЕЛИТЕЛЕН ФОТОМЕТЪР ВЪРХУ ТОЧНОСТТА ПРИ ФОТОМЕТРИРАНЕ НА ОСВЕТИТЕЛИ

Камелия Николова, Димитър Павлов, Николина Янева, Ангел Пачаманов

Резюме: Изходният сигнал от фотоприемника на разпределителен огледален фотометър не е точно пропорционален по големина на големината на светлинния поток на фотометрирания осветител, тъй като спектралните коефициенти на отражение на огледалото не са еднакви за различните дължини на вълните. Дори при много добре коригиран фотоприемник по дневното човешко зрение $V(\lambda)$, резултатната спектрална чувствителност на системата фотоприемник-огледало $s(\lambda) = s_{fn}(\lambda) * \rho_{ogl}(\lambda)$ променя точността при фотометриране на осветители с различни светлинни източници. В статията е определено влиянието на спектралния коефициент на отражение на огледалото върху измервания светлинен поток на осветители с различни светлинни източници посредством разпределителен огледален фотометър.

Ключови думи: огледален разпределителен фотометър, точност вследствие промяна спектралната чувствителност на система фотоприемник-огледало

INFLUENCE OF THE DISTRIBUTION PHOTOMETER MIRROR ON ACCURACY IN LUMINARES' PHOTOMETRY

Kameliya Nikolova, Dimitur Pavlov, Nikolina Yaneva, Angel Pachamanov

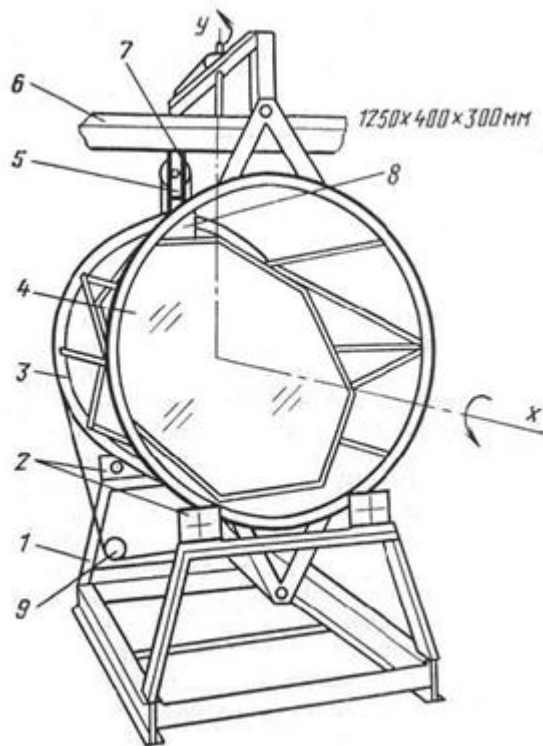
Summary: The output of the photoreceiver of distribution mirror photometer is not exactly proportional in size to the size of the measured luminaire's luminous flux, as the spectral reflectance coefficients of the mirror are not identical for the different wavelengths. Even in very well adjusted photoreceiver in daily human vision $V(\lambda)$, the resulting spectral sensitivity of the photoreceptor-mirror system $s(\lambda) = s_{fr}(\lambda) * \rho_{mir}(\lambda)$ modifies the accuracy in the photometry of luminaires with different light sources. The article estimated the influence of spectral reflection coefficient of the distribution photometer mirror on the measured luminaires' luminous flux, taking into account the spectral irradiance of the different light sources.

Keywords: mirror distribution photometer, accuracy modification due to changing spectral sensitivity of the photoreceiver

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Автоматизираният гониофотометър представлява „разпределителен“ фотометър с въртящо се по оптичната ос плоско огледало 4, разположено в цилиндричен кафез 3. Огледалото е разположено под ъгъл 45° спрямо оптичната ос X, по ко-

ято на 15,5 м е фиксиран фотоприемник [1]. Състои се от основна рама 1, ролки 2, люлка 5 за осветителя 6, за запазване на работното му положение чрез верига и зъбни колела 7. Задвижването на осветителя и цилиндричния кафез се осъществява чрез редуктори и стъпкови двигатели 8 и 9 (фиг.1).



- 1 Основна рама
- 2 Ролкови блокове
- 3 Решетъчен цилиндър
- 4 Плоско огледало
- 5 Рамка с измервания осветител
- 6 Измерван осветител
- 7 Свързани с верига колела
- 8 Стъпков двигател за задвижване на осветителя по ос Y, куплиран с редуктор
- 9 Стъпков двигател за задвижване на цилиндъра с огледалото по ос X, куплиран с редуктор

Фиг.1. Автоматизиран разпределителен огледален фотометър [1].

Светлинният поток на измерваните светлинни източници/осветители се получава достатъчно точно чрез измерване на разпределението на пространствена плътност на светлинния поток $I(C,\gamma)=d\Phi/d\Omega(C,\gamma)\approx E(C,\gamma)*L^2$ (интензитет), чрез огледалния разпределителен фотометър (фиг.1) и последващо числено интегриране на тялото на разпределение на интензитета по метода на зоналните потоци [1].

Осигуряването на точността на измерванията при фотометриране на осветители с разпределителен огледален фотометър може да се обезпечи при следните условия:

- ✓ спектралната чувствителност на използвания фотоприемник ($s'(\lambda)_{\text{фотоприемник}}$) да съвпада с относителната спектрална чувствителност на дневното човешко зрение ($V(\lambda)$):

$$s'(\lambda)_{\text{фотоприемник}} \equiv V(\lambda) \quad (1)$$

- ✓ да се отчетат промените от системата фотоприемник-огледало по отношение на спектралния състав на попадналия върху приемната повърхност на фотоприемника поток така че:

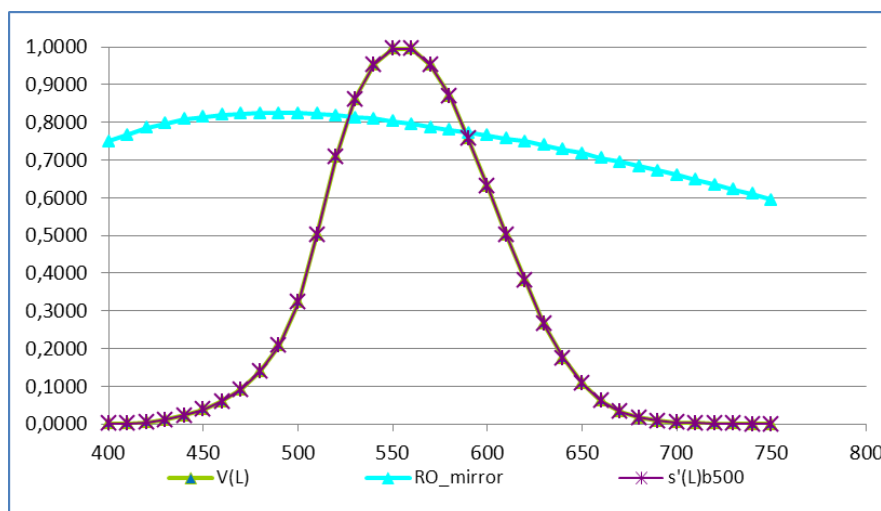
$$V(\lambda) \equiv \frac{s'(\lambda)}{K} = \frac{s'_{\text{фн}}(\lambda) \cdot \rho(\lambda, \varepsilon_i)}{K}, \quad (2)$$

където K е корекционна константа; $\rho(\lambda)$ – спектрален коефициент на отражение на огледалото при ъгъл на падане на светлината $\varepsilon_i=45^\circ$; $s'(\lambda)$ - функция на относителна спектрална чувствителност на системата фотоприемник-огледало.

2. ВЛИЯНИЕ НА СПЕКТРАЛНИЯ КОЕФИЦИЕНТ НА ОТРАЖЕНИЕ НА ОГЛЕДАЛОТО ВЪРХУ ОТКЛОНЕНИЕТО НА ИЗМЕРВАНИТЕ СТОЙНОСТИ ПРИ ИЗМЕРВАНЕ НА СВЕТЛИНЕН ПОТОК РАЗПРЕДЕЛИТЕЛЕН ОГЛЕДАЛЕН ФОТОМЕТЪР

При фотометриране на светлинни източници (осветители) с различна спектрална интензивност на лъчението посредством разглеждания разпределителен огледален фотометър е необходимо да се вземат предвид следните особености:

- ✓ използвания фотоприемник е много фино съгласуван ($f_1=0,4\%$) и на практика почти не внася отклонения;
- ✓ спектралния коефициент на отражение на огледалото ($\rho(\lambda)$) е непостоянен и води до отклонения в отчитаните стойности от системата огледало-фотоприемник



Фиг.2. Спектрален коефициент на отражение на огледалото на разпределителния фотометър $\rho(\lambda)$, относителна спектрална чувствителност на човешкото око $V(\lambda)$ и на фотоприемника $s'(\lambda)$ ($f_1=0,4\%$)

За да бъде отчетено влиянието на спектралния състав на интензивността на лъчението е необходимо да се определят корекционни константи за различните видове светлинни източници, характеризиращи се с различна спектрална интензивност на лъчението ($\varphi_{CH}(\lambda)$):

$$K_{CH} = \frac{\sum \varphi_{CH}(\lambda) \cdot s'_{\varphi_n}(\lambda) \cdot \rho(\lambda, \varepsilon_i)}{\sum \varphi_{CH}(\lambda) \cdot V(\lambda)} \quad (3)$$

В представените резултати обект на изследване са предимно светлодиодни (СД) източници със спектрален състав на интензивност на лъчението, определящ

различна корелирана цветна температура, както и натриеви лампи високо и ниско налягане.

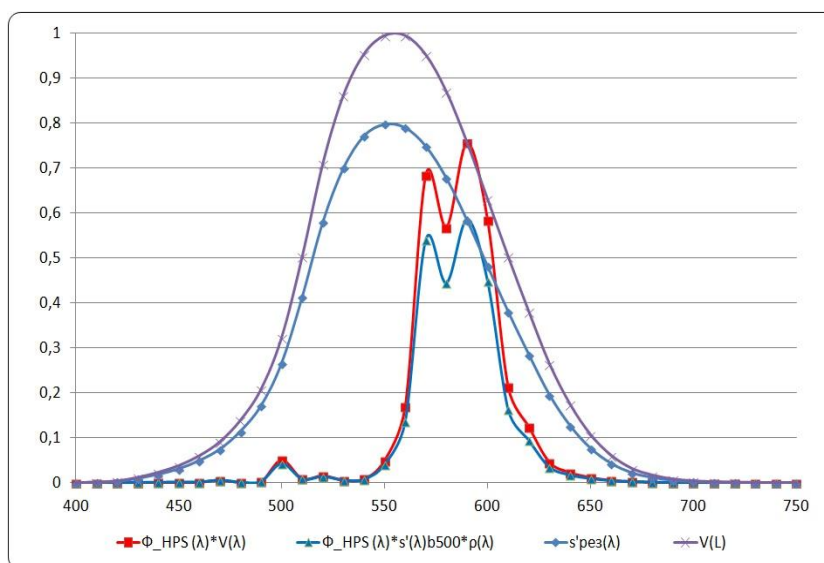
На фиг.3-фиг.6 са представени получените резултати за резултантната спектрална чувствителност на системата огледало-фотоприемник

$$s'_{\text{рез}}(\lambda) = s'_{\text{фн}}(\lambda) \cdot \rho(\lambda, \varepsilon_i),$$

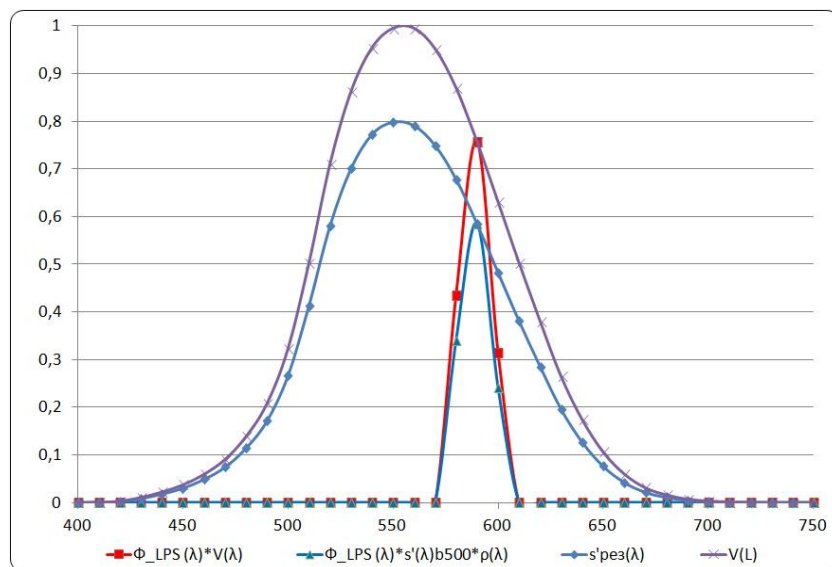
действителния поток, оценен по относителната спектрална чувствителност на човешкото око $\varphi_{\text{CH}}(\lambda) \cdot V(\lambda)$ и регистрирания от системата фотоприемник огледало поток

$$\varphi_{\text{CH}}(\lambda) \cdot s'_{\text{фн}}(\lambda) \cdot \rho(\lambda, \varepsilon_i)$$

за различните светлинни източници .

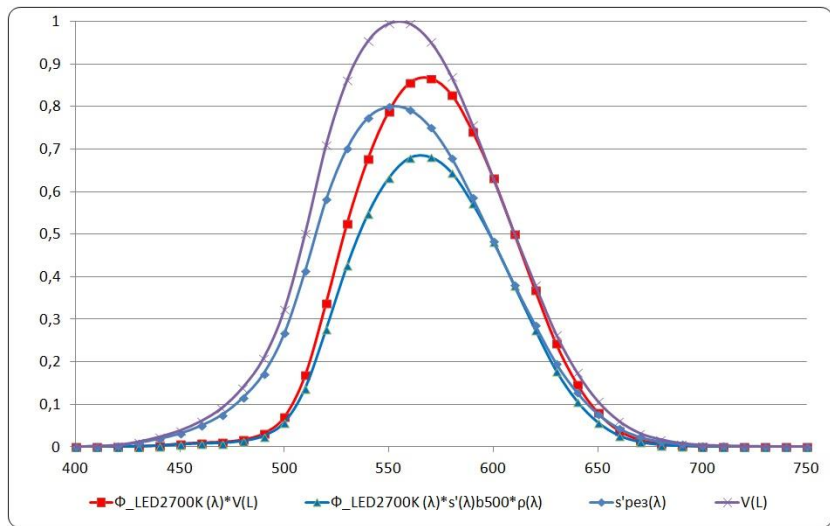


а)

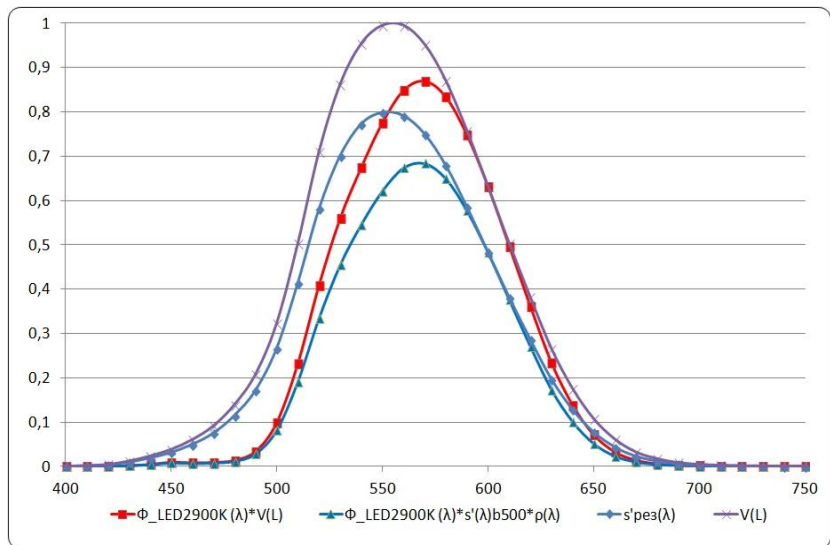


б)

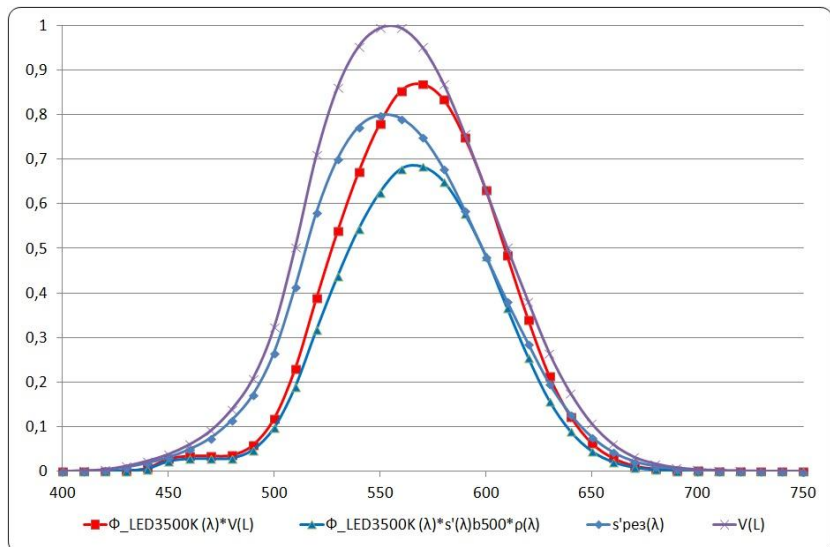
Фиг.3. Спектрална чувствителност на система фотоприемник-огледало $s'_{\text{рез}}(\lambda)$, действителен поток $\varphi_{\text{CH}}(\lambda) \cdot V(\lambda)$ и регистриран от системата фотоприемник-огледало поток $\varphi_{\text{CH}}(\lambda) \cdot s'_{\text{фн}}(\lambda) \cdot \rho(\lambda, \varepsilon_i)$ при осветители с а) НЛВН (при $\Phi_{\text{HPS}}=5,685 \text{ W}$) и б) НЛНН (при $\Phi_{\text{LPS}}=2 \text{ W}$)



а)

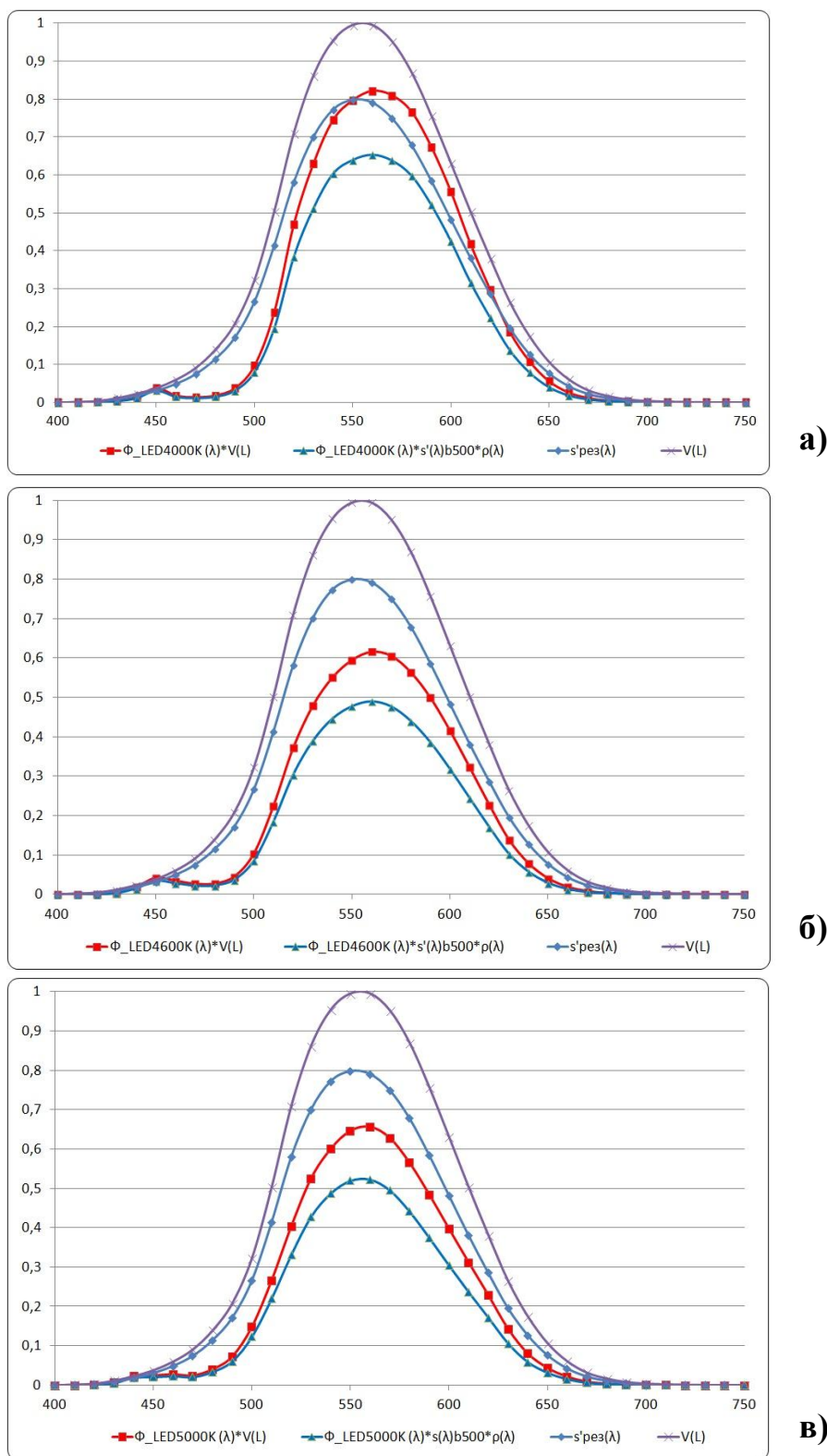


б)

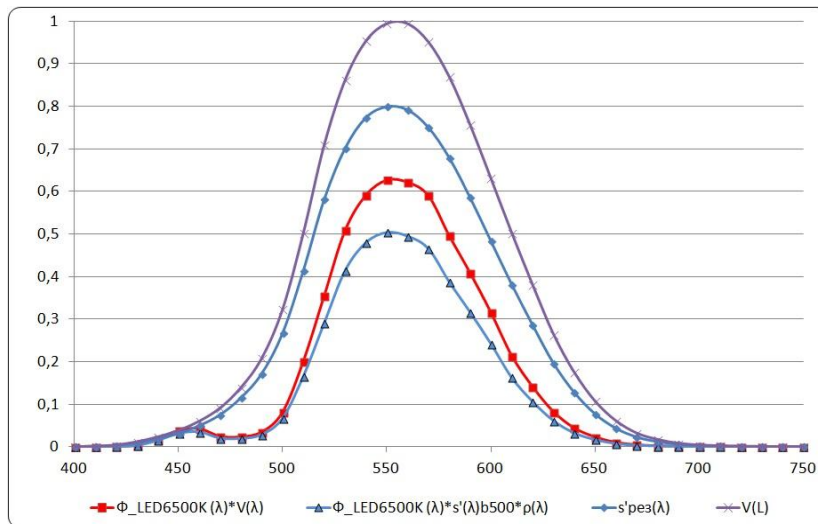


в)

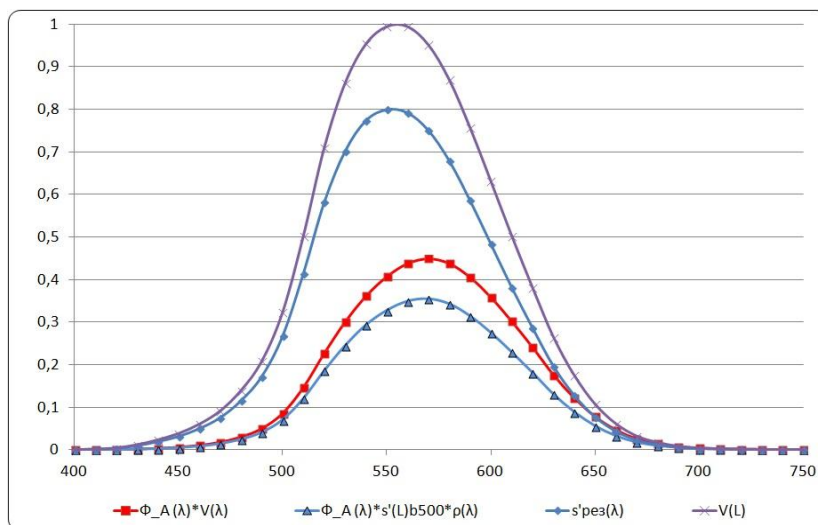
Фиг.4. Спектрална чувствителност на система фотоприемник-огледало $s'_{\text{pez}}(\lambda)$, действителен поток $\varphi_{\text{СИ}}(\lambda).V(\lambda)$ и регистриран от системата фотоприемник-огледало поток $\varphi_{\text{СИ}}(\lambda).s'_{\text{fn}}(\lambda).\rho(\lambda, \epsilon_i)$ при СД източници на светлина със спектрално разпределение, характеризиращо се с корелирана цветна температура а) 2700K (при $\Phi_{\text{LED2700K}}=15,81\text{W}$), б) 2900 K (при $\Phi_{\text{LED2900K}}=15,4\text{W}$), в) 3500 K (при $\Phi_{\text{LED3500K}}=16,61\text{W}$),



Фиг.5. Спектрална чувствителност на система фотоприемник-огледало $s'_{\text{рез}}(\lambda)$, действителен поток $\varphi_{\text{СИ}}(\lambda).V(\lambda)$ и регистриран от системата фотоприемник-огледало поток $\varphi_{\text{СИ}}(\lambda).s'_{\text{фн}}(\lambda).\rho(\lambda, \varepsilon_i)$ при СД източници на светлина със спектрално разпределение, характеризиращо се с корелирана цветна температура а) 4000К (при $\Phi_{\text{LED4000K}}=16,245\text{W}$), б) 4600 К (при $\Phi_{\text{LED4600K}}=13,61\text{W}$), в) 5000 К (при $\Phi_{\text{LED5000K}}=14,62\text{W}$).



а)



б)

Фиг.6. Спектрална чувствителност на система фотоприемник-огледало $s'_{pez}(\lambda)$, действителен поток $\varphi_{CH}(\lambda).V(\lambda)$ и регистриран от системата фотоприемник-огледало поток $\varphi_{CH}(\lambda).s'_{fn}(\lambda).\rho(\lambda, \varepsilon_i)$ при СД със спектрално разпределение, характеризиращо се с корелирана цветна температура а) 6500K (при $\Phi_{LED6500K}=11,575W$), и б) при стандартен светлинен източник А (при $\Phi_A=18,11W$),

Таблица 1.

Корекционни коефициенти, отчитащи влиянието на спектралния коефициент на отражение на огледалото на разпределителния фотометър върху точността на измерването при различен спектрален състав на фотометрираните из-

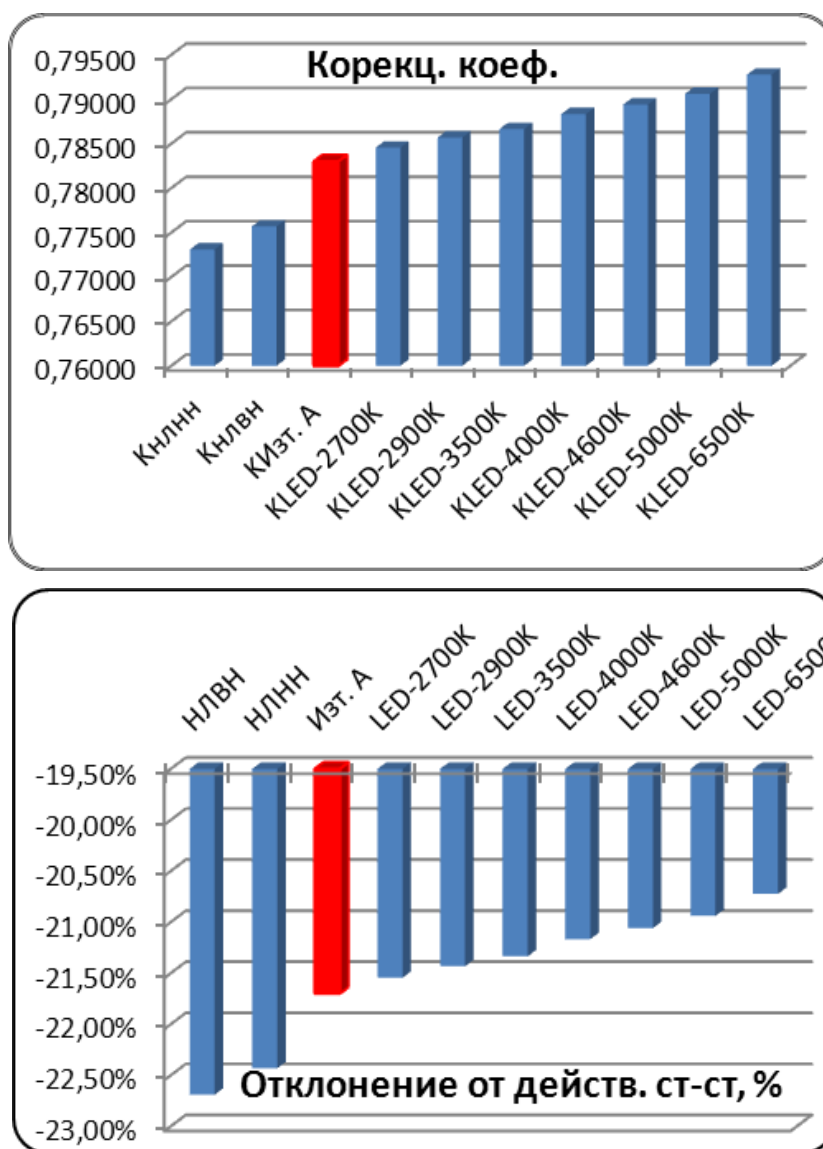
точници

Вид източник	Газоразр. изт.		Изт. А	LED						
	$K_{нлн}$	$K_{нлвн}$		$K_{LED-2700K}$	$K_{LED-2900K}$	$K_{LED-3500K}$	$K_{LED-4000K}$	$K_{LED-4600K}$	$K_{LED-5000K}$	$K_{LED-6500K}$
Корекц. коеф.	0,77309	0,77568	0,78300	0,78454	0,78568	0,78664	0,78833	0,78940	0,79061	0,79276
Отклонение от действ. ст-ст, %	-22,69%	-22,43%	-21,70%	-21,55%	-21,43%	-21,34%	-21,17%	-21,06%	-20,94%	-20,72%

Отклонението на отчетените от системата огледало-фотоприемник стойности от действителните, получени за дневното човешко зрение се определят от:

$$\delta_{СИ} = \frac{\sum \varphi_{СИ}(\lambda) \cdot s'_{\varphi_n}(\lambda) \cdot \rho(\lambda, \varepsilon_i) - \sum \varphi_{СИ}(\lambda) \cdot V(\lambda)}{\sum \varphi_{СИ}(\lambda) \cdot V(\lambda)} \cdot 100, \% \quad (4)$$

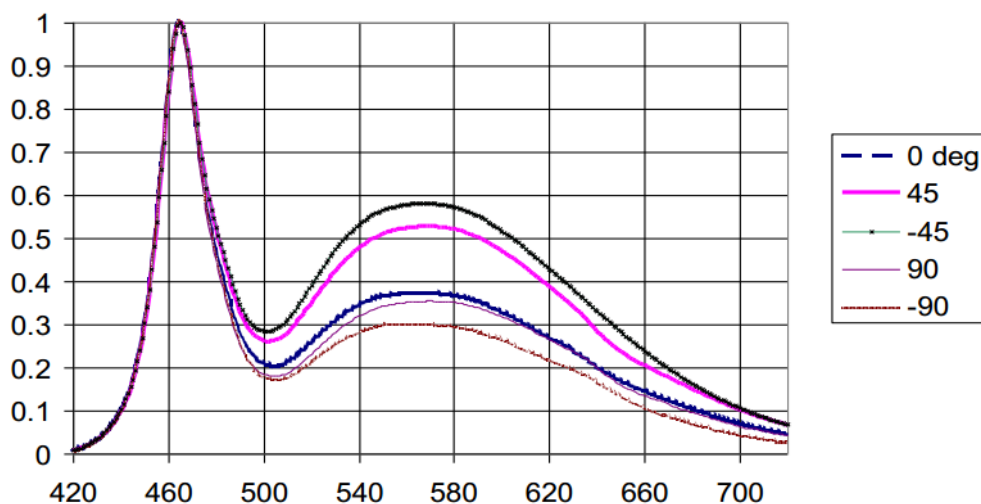
Получените резултати за корекционните коефициенти и съответното отклонение на отчетените стойности от действителните са дадени в табл.1 и на фиг.7.



Фиг.7. Корекционни константи и отклонение на резултата за потока на източник тип “А”, различни СД и газоразрядни светлинни източници в проценти при отчитане на влиянието на спектралния коефициент на отражение на огледалото и много фино съгласуван по $V(\lambda)$ фотоприемник

Намаляващите стойности на спектралния коефициент на отражение на огледалото на разпределителния фотометър при дължини на вълните по-големи от 500 nm води до нарастване на отклонението на отчетаните показания за потока, излъчван от източниците на светлина по отношение на потока, оценен по спектралната чувствителност на дневното човешко зрение.

Трябва да се отбележи, че повечето светодиодни изделия са комплектовани с вторична оптика. В тези случаи излъчващата повърхност се характеризира с различен спектрален състав на лъчистия си поток в пространството, при което определените корекционни константи няма да доведат до еднозначно повишаване на точността на измерването, фиг.8 [2].



Фиг.8. Спектралната интензивност на излъчването на СД изделие с вторична оптика, изменящо се в зависимост от ъгъла на наблюдение [2].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на корекционни коефициенти за отчитане на спектралния коефициент на отражение на огледалото е удобно при източници с хомогенен спектрален състав на излъчващата повърхност.

При светодиодните източници, вторичната оптика и/или покритието на луминофора може да доведат до излъчване с различна спектрална интензивност за различните ъгли на наблюдение.

В тези случаи е необходимо да се измери спектралната интензивност на лъчението за много и различни направления и ползването на обобщени корекционни коефициенти е неподходящо.

За получаване на резултати с желана точност е необходимо да се въведе коригиращ филтър със спектрален коефициент на поглъщане, който да осигурява спектрална чувствителност на комплекта огледало - филтър - фотоприемник

$$s(\lambda) = s_{\text{фп}}(\lambda) * \rho_{\text{огл}}(\lambda) * \tau_{\text{кф}}(\lambda)_{\text{real}}$$

кратна на $V(\lambda)$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Василев Н. И., А. С. Пачаманов, *Автоматизированные гониофотометрические системы*, Сп. "Светотехника", N 12/1990, Москва, стр. 19-21
- [2] Muray C., *Standardization of LED measurements; New Publication of CIE Technical Report # 127:2007*, Institute for Photometry and Radiometry, CORM Gaithersburg, 2007

Автори: д-р инж. Камелия Николова, гл. асистент, катедра „Обща електротехника“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: knikolova@tu-sofia.bg ; Димитър Павлов, асистент, катедра „Обща електротехника“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: dpavlov@tu-sofia.bg ; Николина Янева маг. физ., отговорник по качеството в НИИКЛ “Осветителна техника”, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: niya@tu-sofia.bg ; Ангел Саракинов Пачаманов, професор д-р инж., катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт”, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: pach@tu-sofia.bg, р-л НИИКЛ “Осветителна техника” (www.onilot.com)

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент гл. ас. д-р инж. Ива Петринска

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ОСВЕТИТЕЛИ СЪС СВЕТЛОРАЗПРЕДЕЛЕНИЕ ТИП "BAT WING" В АДМИНИСТРАТИВНИ И ОБЩЕСТВЕНИ СГРАДИ

Захари Иванов

Резюме: *Анализирани са характерните особености на осветителите със светлоразпределителна крива (СРК) тип "bat wing" и приложението им във вътрешни осветителни уредби. Изчислен е профила и са изработени модели на кръгово симетрични огледални екраниращи решетки с клиновидна параболични форма за осветител с металхалогенна лампа. Измерени са светлотехническите показатели на осветителя с решетки. В заключение са направени изводи относно предимствата на СРК тип "bat wing" във вътрешни осветителни уредби.*

Ключови думи: *светлоразпределителна крива, осветители, административни сгради*

USE OF LIGHTING FITTING WITH LIGHT DISTRIBUTION TYPE "BAT WING" IN ADMINISTRATIVE AND PUBLIC BUILDINGS

Zahari Ivanov

Abstract: *In this study we analyzed the characteristics of lamps with light distribution curve (LDC) type "bat wing" and their application in indoor lightening equipment. Profile is calculated and made models of circularly symmetric mirror screens wedge form parabolic luminaire with metal halide lamp. Have been measured photometric performance of luminaires with screens. Finally, conclusions are drawn on the advantages of LDC type "bat wing" in internal lightening equipment.*

Keywords: *light distribution curve, luminaires, administrative buildings*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

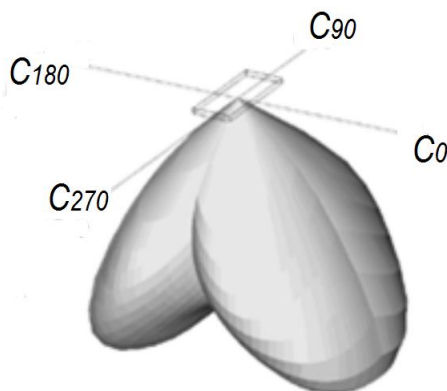
Инсталираната мощност на осветителните уредби е право пропорционална на коефициента на използване на светлинния поток, който от своя страна зависи от светлоразпределението и КПД на осветителя. КПД на осветителя зависи от неговите конструктивни и технологични особености. При използването на огледални рефлектори значително се увеличава КПД на осветителя.

Неправилна е тенденцията за използване на осветители с максимално висок КПД, без съобразяване със светлоразпределението на осветителите, заслепяващото им действие и реалния коефициент на използване на светлинния поток.

Чрез оптимизиране формата на светлоразпределителната крива (СРК) на осветителите може да се реализира значителна икономия на електроенергия и едновременно с това да се повиши качеството на осветлението.

2. ХАРАКТЕРНИ ОСОБЕНОСТИ НА СВЕТОРАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИ КРИВА ТИП “BAT WING”

На фиг.1 е показано фотометричното тяло на осветител със светлоразпределителна крива (СРК) тип “bat wing” (крило на прилеп) в напречната равнина ($C_0 - C_{180}$). От експерименталните изследвания на ОУ с осветители с различни СРК, показани на фиг.2, крива 4 (тип “bat wing”) е с предимство по отношение на отразения блясък.



Фиг.1.

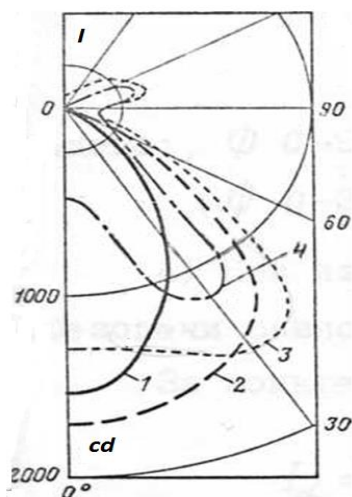
Зрителната работоспособност намалява при отразения блясък, поради намаляване на контраста (K) на зрителната задача (текст), което се оценява с коефициента на понижаване на контраста (CRF).

На фиг.3 и фиг.4 е дадена зависимостта на CRF от дължината на помещението в напречна и надлъжна посока при използване на осветители със СРК от фиг.2.

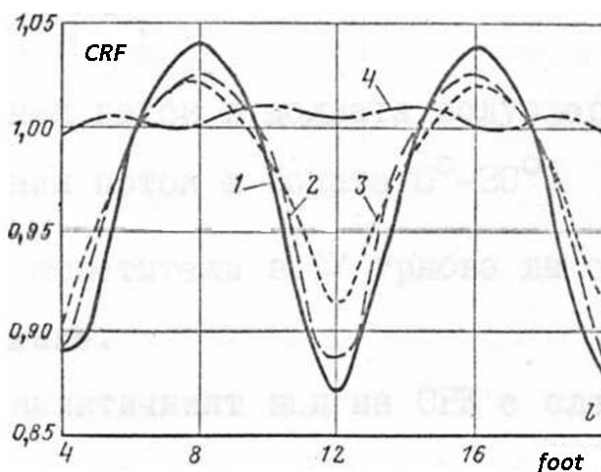
В САЩ за оценка на условията на виждане в помещения, където е възможно възникване на отразен блясък, се използва "еквивалентна сферична осветеност "ESI". Вътре в дифузна сфера нейната стойност е приета да е равна на 100 %, т.е. осветеността на работната повърхност напълно се използва за решаване на дадена зрителна задача.

Направените изследвания показват, че при обекти, осветявани с осветители със светлоразпределителна крива “bat wing” се намалява инсталираната мощност на осветлението примерно с 1/3 в сравнение с използване на осветители с преобладаваща директна светлина, притежаващи обикновена форма на кривата [5].

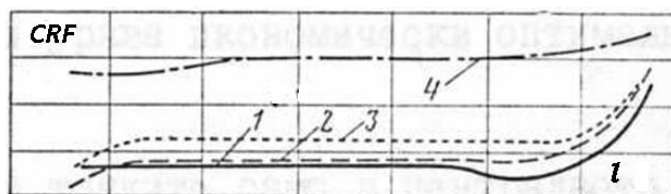
Подобни примери могат да се посочат много, но сега е важно да се отбележи, че различните сложни светлотехнически задачи, възникващи в съвременните условия на труд, могат да бъдат решени с помощта на осветители със специални технически характеристики и с оптимално светлоразпределение.



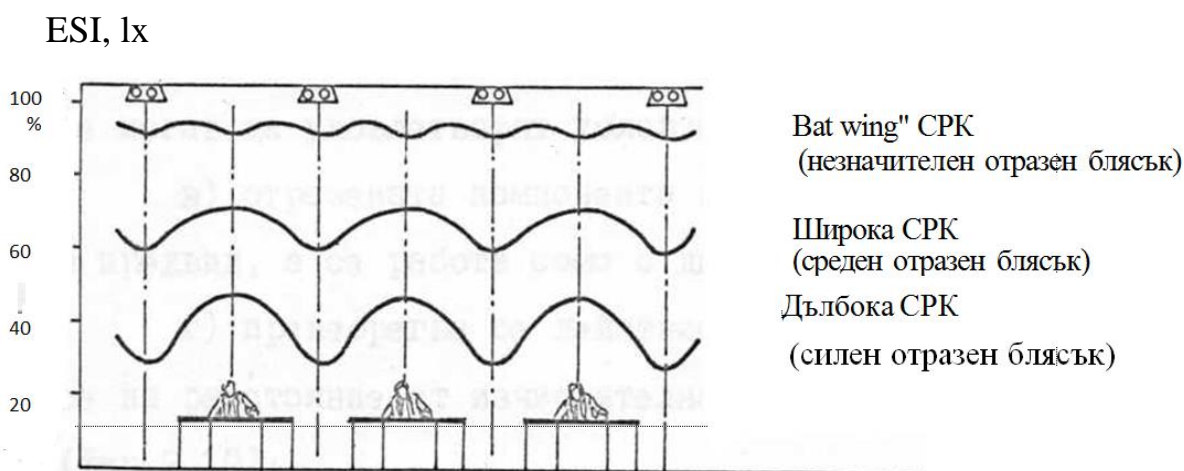
Фиг.2.



Фиг.3.



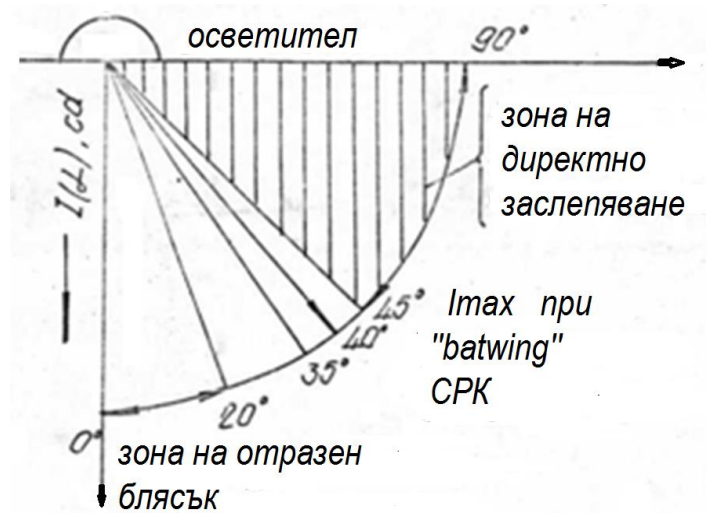
Фиг.4.



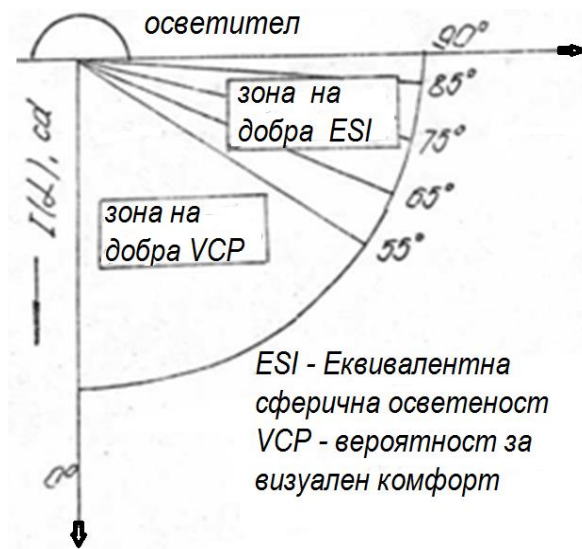
Фиг.5.

На фиг.4 е показано разпределението на стойностите на ESI при различни CPK в напречния разрез на помещението. Анализът на посочените графики показва, че при използване на осветители със CPK "batwing" величините CRF (фиг.2 и фиг.3) и ESI (фиг.4) имат най-малки колебания и стойностите им се приближават към единица [5].

Специалните широки светлоразпределителни криви "bat wing" имат два симетрично разположени спрямо оптичната ос максимуми под ъглите 35-40° (виж фиг. 6) и силно намаляване на интензитета на светлината в зоната на ъглите 0 -20° (зона на отразен блясък) и 45 - 90° (зона на директно заслепяване).



Фиг.6.



Фиг.7.

Значително намаляване разходите във вътрешните осветителни уредби (ВОУ) може да бъде реализирано за сметка на използването на осветители със светлоразпределение, оптимизирано за конкретни осветителни задачи.

Оптимално разпределение на светлинния поток на осветителя ще бъде това, при което съвкупността от осветителите в помещението удовлетворява всички изисквания за количествени и качествени показатели на вътрешната осветителна уредба, при минимален светлинен поток на осветителя [3]. За оптимизиране на СРК на административни помещения, като допълнителни ограничителни условия са: а) ограничаване на зоналния поток до 30° с оглед на ограничаване на отразения блясък; допустимо съотношение на осветеностите на тавана и стените към осветеността на работната повърхност [3].

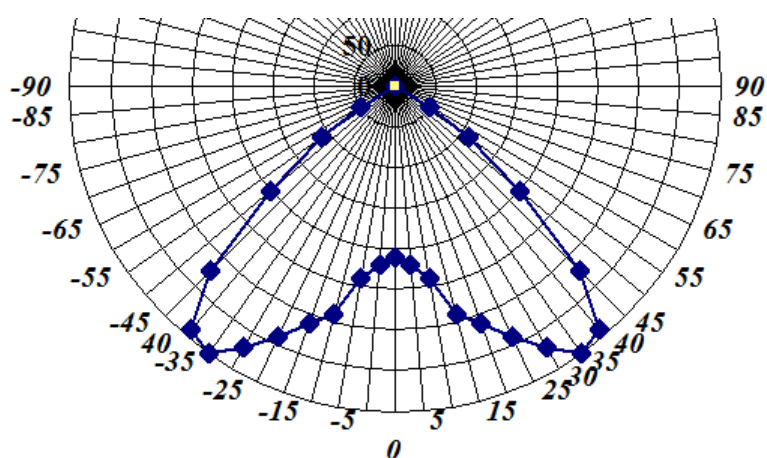
При зададени геометрични и фотометрични характеристики на конкретни административни помещения чрез решаване на оптимизационната задача са полу-

чени фамилия от оптимални СРК със „седловиден“ характер от типа “bat wing” [3].

Стойностите на оптималната светлоразпределителна крива тип “bat wing” на кръгосиметричен осветител с МХЛ 100 W за общо осветление на обществени и административни помещения са посочени в табл.1 [3] и фиг. 8.

Таблица 1.

$\alpha, ^\circ$	0	5	10	15	20	25	30
$I \alpha, \text{cd}$	210	220	240	290	310	340	370
$\alpha, ^\circ$	35	40	45	50	55	60	65
$I \alpha, \text{cd}$	400	390	320	200	110	50	0



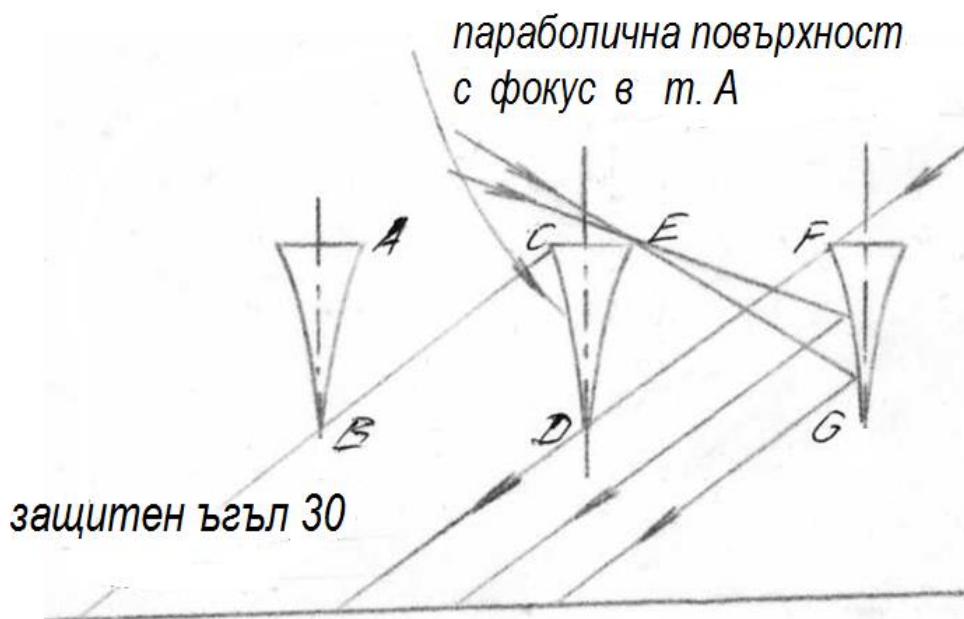
Фиг.8.

3. РАЗРАБОТВАНЕ НА ОГЛЕДАЛНИ ЕКРАНИРАЩИ РЕШЕТКИ С КЛИНОВИДНА ПАРАБОЛИЧНА ФОРМА

Яркостта на светещите части на осветителя, с оглед ограничаване на директното заслепяване, се ограничава за ъглите 55° , 65° , 75° и 85° . Средната яркост на осветителя не трябва да надвишава стойностите, дадени в БДС EN 12464 за конкретните задачи и видове работи.

За да се избегне недостатъка на обикновените екраниращи решетки в редица случаи се изработва профил на решетките с параболична клинообразна форма с огледална повърхност [2]. Основните светлотехнически изисквания към такива екраниращи решетки са: а)обезпечаване на допустима стойност на яркостта в зоната на защитните ъгли; б)реализиране на достатъчно висок КПД на осветителя.

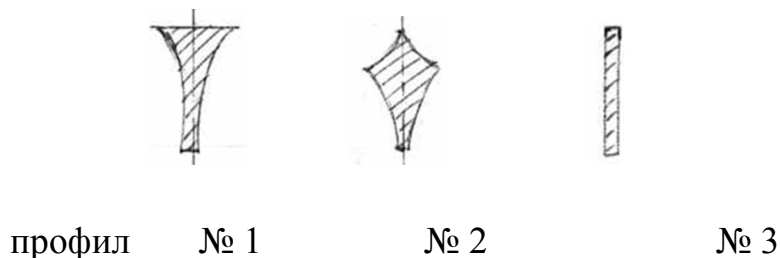
На фиг.9 е показана клетка на огледална решетка, на която повърхностите АВ и СД имат параболична форма. При определяне на параболите е съобразено, че фокуса на повърхността АВ е в точката С, а на СД в точката А и оста на параболата СД е успоредна на СВ и сключва с хоризонталната линия ъгъл равен на защитния ъгъл (например 30°)



Фиг.9.

При така конструираната решетка, лъчите от светлинният източник, преминаващи през точката Е и падащи на огледалната повърхност FG след отражението ще излизат от осветителя под ъгъл, равен на защитният ъгъл. Светлината на лампата при тези екраниращи решетки не попада в зоната на защитните ъгли, затова яркостта на решетката в тази зона теоретично не зависи от размерите и яркостта на светлоизточника. Освен това, тук се реализира достатъчно висок КПД на осветителя, поради наличието само на еднократни отражения на светлината от източника.

За разработения модел на осветителното тяло са изработени решетки с три варианта на профили, като двата от тях са с параболична клиновидна норма. Изчислените профили на параболичните клиновидни решетки са изработени от епоксидна смола, в последствие облепени с огледално фолио. Профилите на решетките имат следната форма (фиг.10):

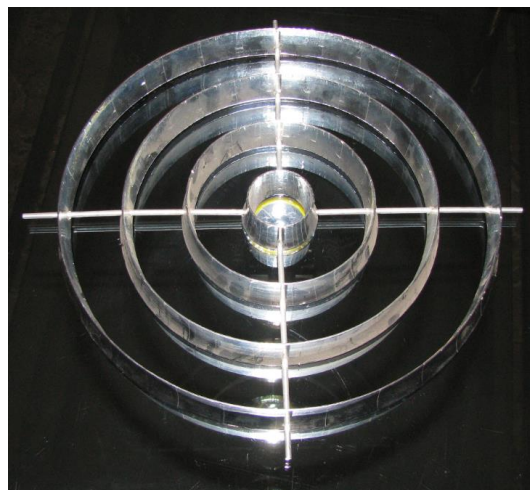
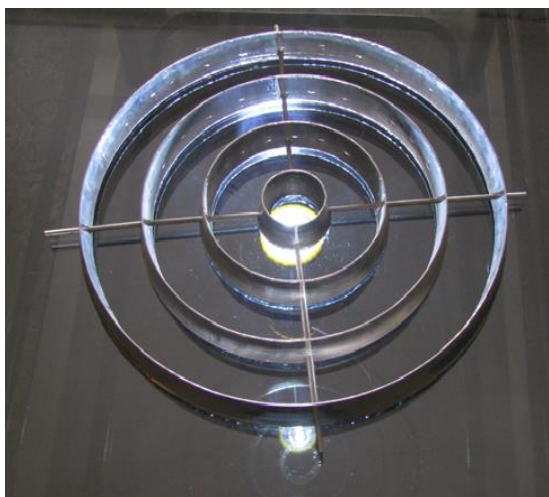


Фиг. 10.

На фиг.11 и фиг.12 е показан лабораторен образец на кръгово симетрична екранираща решетка с клиновидна параболична форма.



Фиг.11.



Фиг.12.

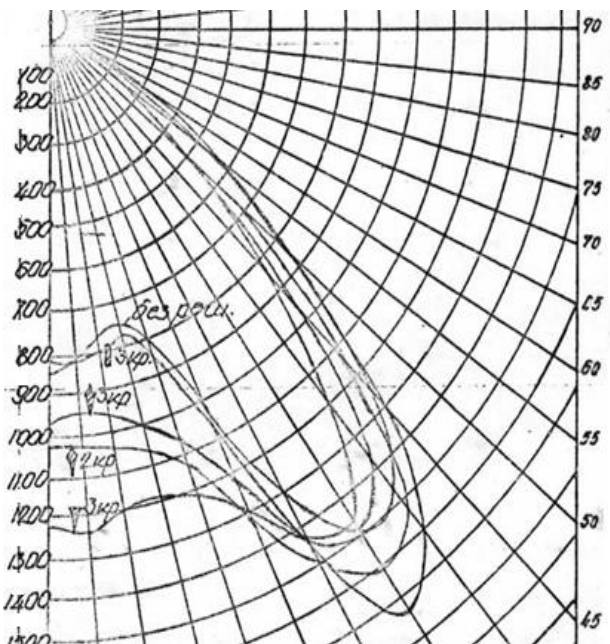
Решетката може да се изработи от разпенен полиамид, удароустойчив полистирол или полипропилен чрез шприцване. Повърхността се огледализира с разпръскване на алуминий под вакуум със последваща защита на огледалния слой с прозрачен лак, устойчив на температура.

На така изработените модели на осветителното тяло, с различни варианти отражатели и решетки, са направен светлотехнически измервания [4].

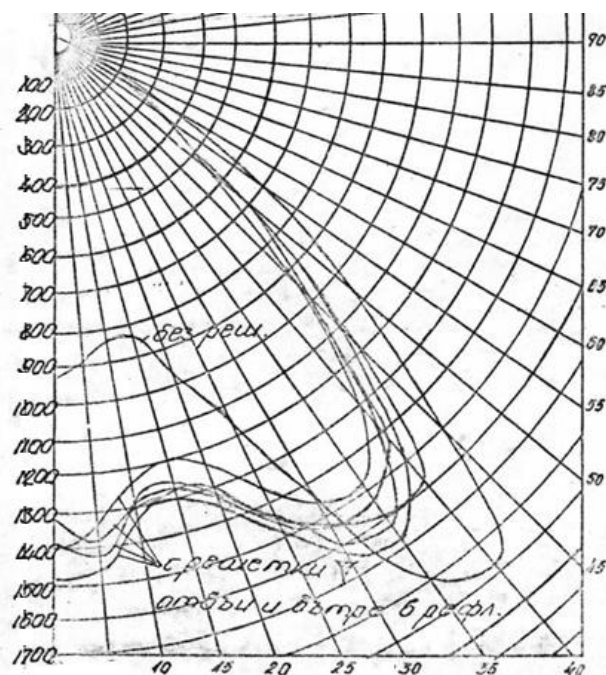
На фиг.13 са показани СРК на осветителя с отражател, покрит с фолио с (без) решетка с клиновидна параболична форма, с хоризонтална горна повърхност, с монтиране на решетката извън отражателя [4]. Отражателят е монтиран така, че горният край на решетката и долният край на отражателя да са в една равнина. От фиг. 13 се вижда, че интензитетът при 0° нараства от 1,4 до 1,6 пъти при отражател с решетки в сравнение с отражател без решетки

На фиг.14 е показана СРК на осветителя с отражател с фолио и трите вида решетки, които са монтирани вътре.

Решетката може да се монтира вътре в отражателя така, че долният край на решетката и отражателя са в една равнина. От посочените варианти на разположение на решетките най-подходяща по отношение на КПД и СРК е разположението вътре на два от четирите възможни кръга. Разположението на решетките вътре е по-добре не само от светлотехническа, а също така и от естетическа гледна точка. От фиг.13 се вижда, че измерената СРК има най-голямо отклонение от желаната СРК при решетки с 3 кръга, параболични от долу и хоризонтални отгоре. По-близка до желаната СРК се получава при осветител с отражател и параболична решетка с 2 кръга, които са остри от двете страни.



Фиг.13 .



Фиг.14.

В табл.2 е показано сравнението на КПД на осветител с отражател, покрит с фолио със и без решетка. От таблицата се вижда, че осветителят без решетка е с най-висок КПД (0,85). Най-висок КПД има осветител с решетка №2. КПД на осветителят с всички видове решетки е над 0,7.

Таблица 2

КПД на осветител с отражател и с (без) огледални решетки

№1.	Без решетка	0,85
№2.	С решетка с 2 бр. кръга 	0,80
№3.	С решетка с 3 бр. кръга 	0,77
№4.	С решетка с 3 бр. кръга 	0,75
№5.	С решетка с 2 бр. кръга 	0,75
№6.	С решетка с 3 бр. кръга 	0,72

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основните преимущества на осветител със СРК "bat wing" са:

- ограничен отразен блясък на работната повърхност, вследствие на мален интензитет на светлината в зоната $0^{\circ} \div 20^{\circ}$;
- намаляване на обобщения показател на дискомфорт (UGR), благодарение на ограниченото излъчване в зоната $45^{\circ} \div 90^{\circ}$.
- възможност за увеличаване на разстоянията между редовете на осветителите между два съседни реда, за сметка на взаимното "припокриване" на максимумите на излъчване. Увеличаване на разстоянието между осветителите предполага намаляване на капиталните вложения и енергийните разходи, при подобрени качествени показатели на осветлението;
- високи нива на вертикална осветеност;
- голяма наситеност на помещенията със светлина;
- благоприятно съотношение между вертикалната и хоризонталната осветеност.

Разработените кръговосиметрични клиновидни решетки са със следните особености:

- в сравнение с други типове осветители за административни помещения, осветителите с кръгово симетрична екранираща решетка с клиновидна параболична форма съчетават висок КПД, рационално светлоразпределение, което позволява да се постигнат високи качествени показатели на ВОУ;
- за предпочитане е използване на клиновидни от двете страни параболични решетки с 2 кръга вътре в отражателя, с което се реализира висок КПД и подходяща СРК.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Иванов З. А., *Приложение във вътрешните осветителни уредби на осветители със светодиоди и светлоразпределение тип "batwing"*, ПРОЕКТ BG051PO001-3.1.07-0063, „Актуализиране на учебни програми по електротехнически специалности в ТУ- София в съответствие с изискванията на бизнеса”.

[2] Иванов З. А. и к-в, *Оптична система на осветител*, Авторско свидетелство №37168 от 09. 01. 1986 г.

[3] Иванов З.А., *Повишаване ефективността на осветителите за вътрешно осветление*, дисертация, 1982г, ВМЕИ – София

[4] Василев Н. И., Иванов З. А., Христов К.Х., *Осветител с МХЛ за осветление на административни и обществени сгради*, VI национална конференция с международно участие на тема "Рационално използване на електрическата енергия за осветление", "Осветление '84 ", Варна 4-6 октомври 1984 г., том I, стр. 216-219

[5] Lewin I., Griffith J., *The effect of Illumination Systems Upon Visual Performance*, http://google.bg/books?id=0jIjbvkZ44gC&pg=PA483&hl=bg&source=gbs_to_c_r&cad=4

Автор: Захари Иванов, доц. д-р, катедра ЕСЕО, Електротехнически Факултет, Технически Университет – София, E-mail adress: zai@tu-sofia.bg.

Постъпила на 15. 12. 2014 г.

Рецензент: проф. д-р инж. Ангел Пачаманов

ПОСТИГАНЕ НА МИНИМАЛЕН РАЗХОД НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ ПРИ МАКСИМАЛНО УДОВЛЕТВОРЯВАНЕ НА НУЖДИТЕ НА ПОТРЕБИТЕЛИТЕ ОТ СВЕТЛИНА

Ива Петринска, Дилян Иванов

Резюме: Използването на системи за управление на естествената светлина, което се определя както от географското положение, така и от архитектурата трябва да бъде съвместно със системи за управление на изкуственото осветление, следващи промяната на естествената светлина. С цел разработването на иновативен подход за управление на осветлението е необходимо детайлно проучване на дневния и годишен профил на промяна на естествената светлина. Настоящото проучване има за цел дефинирането на стратегия за управление на естественото и изкуствено осветление, която включва допълнителни нови критерии за удовлетворяване на човешките нужди от светлина и едновременно намаляване на консумацията на електрическа енергия.

Ключови думи: дневно естествено осветление, минимални разходи на електрическа енергия за осветление, управление на осветлението според нуждите

MEASURES FOR MINIMAL ENERGY CONSUMPTION AND MAXIMAL USER SATISFACTION FOR INDOOR LIGHTING SYSTEMS

Iva Petrinska, Dilian Ivanov

Abstract: The application of daylighting control systems, which are both design and site specific, have to be considered together with the application of electric lighting control systems, following closely the change of the natural light. In order to develop holistic control strategies, the expected daily and annual change of the daylight availability has to be studied in detail. With this, the current paper will define control strategies for daylight and electric lighting that use new or additional quality criteria to enhance user satisfaction and productivity, while reducing energy consumption for electric lighting.

Keywords: daylighting, minimal energy consumption for lighting, lighting control according to individual lighting preferences

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Удовлетворяването на човешките потребности и постигането на енергийна ефективност са два от основните аспекти при проектиране на съвременни осветителни системи. Увеличаването на дела на естествената светлина, проникваща в сградното пространство води до увеличаване на удовлетвореността на хората, намиращи се в него, поради положителното биологично и физиологично влия-

ние, което тя оказва върху тях и възможността за намаляване на количеството енергия, необходима за осветление. Ето защо е необходимо оптимизиране на наличието на естествена светлина, която не заслепява обитателите и едновременно води до постигане на енергийна ефективност т.е. намаляване на консумираната за осветление и климатизация енергия. Това е невъзможно без използването на ефективни системи за управление на естественото и изкуствено осветление.

2. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

Енергийна ефективност на осветителни системи Съществуват няколко подхода за постигане на енергийна ефективност. Най-общо те включват използването на ефективни светлинни източници (луминесцентни лампи и светодиоди), ефективна ПРА и ефективни системи за управление на осветлението [1]. Повечето съвременни осветителни уредби могат да бъдат определени като ефективни [2], тъй като те отговарят на гореспоменатите критерии за ефективност и осигуряват предписаните от стандарта количествени и качествени показатели на осветлението [3]. Тъй като консумацията на електрическа енергия за осветление намалява поради използването на нови високоефективни светлинни източници, абсолютната стойност на спестената посредством системи за управление енергия също намалява и съответно периодът за откупуване на тези системи се увеличава. Това води до нуждата от допълнителна мотивация за използване на системи за управление на осветлението. Според *Kirsch* [4] ефективността на съвременните осветителни уредби трябва да бъде оценявана съвместно с качеството на осветлението, определено като оптимално разпространение на светлината вместо осветеност и равномерност на осветеността. Светлинните решения, оценени посредством предложения критерий показват намаляване на енергийната консумация и увеличаване на качеството на светлинната среда като същевременно удовлетворяват човешките нужди и изискванията за енергийна ефективност. Използването на този показател се определя от факта, че той е база за преценка на наситеността на помещението със светлина [5].

Настоящи качествени показатели. В съвременните стандарти и норми количествените и качествените показатели на осветлението на дадено пространство са ниво на осветеност, равномерност на осветеността, разпределение на яркостите, дискомфорт и заслепяване, пространствено разпределение на светлината и сенките. Тези критерии, обаче не дават реалистична оценка на качеството на светлината, което води до вземане на лоши светлинни решения, особено при използване на светодиодно осветление [6]. Това налага нуждата от определянето на нови количествени и качествени показатели с цел удовлетворяването на човешките потребности и необходимостта от постигане на енергийна ефективност. *Veitch* и *Newsham* [2] предлагат като качествено да се определя осветлението, при което светлинните условия съответстват на поведенческите нужди на индивидите, намиращи се в осветяваното пространство. Според тях влиянието на светлината върху комфорта и поведението на хората трябва да бъде определено посредством измерими, теоретично обосновани единици [5]. Според *Schmits* и *Liedtke* [7], качеството на осветлението в помещенията зависи от разп-

ределението на светлината в тях. Количествено измерване на този показател е възможно посредством величините средна вертикална или средна цилиндрична осветеност, тъй като те дават информация за яркостта на обектите и човешките лица [8]. Посоката на светлината и делът на пряката светлина са от особено значение за постигане на качествени осветителни решения, тъй като точният баланс на дифузната и насочената компоненти на светлината води до добро „моделиране“ на обекти и хора [9]. Нивото и вариацията на стойностите на вертикалната осветеност също са основни критерии за качество на осветлението в различните работни пространства [10]. Като количествен показател за качество в [11] е предложено използването на количеството попаднала в дадено пространство светлина и образуваното от нея светлинно тяло. Описан е модел, който дава основа за измерване, оценка и разграничаване на различни пространствени разпределения на светлината в зависимост от посоката на падане на светлината и количеството пряка светлина. Тези количествени и качествени показатели, обаче трябва да бъдат изследвани допълнително с цел доказване на достоверността им.

Значение на естествената светлина. Наличието на естествена светлина е важен фактор за постигане на ефективно осветление, тъй като той оказва влияние, както върху човешкия фактор, така и върху количеството на консумираната за осветление електрическа енергия. Естествената светлина е уникален светлинен източник, тъй като спектърът ѝ обхваща всички дължини на вълната, променя се динамично и оказва пряко въздействие върху производителността и настроението на хората [12] [13]. Освен това дискомфорта, причиняван от прозорци с гледка навън е по-малък в сравнение с този причиняван от прозорци с неутрален екран или щори [16]. Въпреки, че положителният за хората ефект на дневната светлина е доказан, нуждата от достъп до прозоречна площ е индивидуална [5] [14]. Предпочитанията на различните индивиди относно съотношението на яркостите в помещения, осветявани с естествена светлина също варират в широки граници, но са свързани с пропорцията на естествената светлина в пространството и нейната промяна в дълбочината на помещенията. Интегрирането на наличната естествена светлина във времето и архитектурното пространство е критичен момент за постигането на оптимален комфорт и продуктивност и за намаляването на консумацията на енергия [20] [21].

Наличие на естествена светлина. С цел удовлетворяване едновременно на човешките потребности от светлина и изискванията за енергийна ефективност е необходимо извършване на адекватна оценка на естествената светлина, проникваща в помещенията. Обикновено такава оценка се дава с величината обобщен коефициент на естествено осветление, съответстващ на условията за естествено осветление при дифузна облачност. Понастоящем съществуващите симулационни програми дават възможност за използване на реалистични данни за промяната на естественото осветление при различни атмосферни условия, посредством които могат да се правят дългосрочни прогнози за наличието на дневно осветление [18] [19], с помощта на тестови референтни години и климатични детайли. Необходимо е, обаче да бъдат дефинирани специфични мерки и крите-

рии за оценка на наличността на естествена светлина, определена посредством симулации [17].

Съществуващи подходи за управление на осветлението. Множество проучвания показват, че иновативните системи за управление на осветлението, следващи промяната на естествената осветеност имат значителен потенциал за намаляване на консумацията на енергия в обществени сгради, като се възползват максимално от проникващата в помещенията посредством светлинни отвори дневна светлина. [22]. В повечето изследвания по въпроса, обаче светлинните предпочитания и визуален комфорт на потребителите не са взети под внимание [25] [26], или е пренебрегнат проблемът заслепяване [1]. С цел постигане комфорт на обитателите на сградното пространство, негативното влияние на заслепяването от проникващата дневна светлина трябва да бъде избегнато. Ето защо е важно да се контролира разпределението на естествената светлина в работното пространство. Това може да се постигне посредством използване на засенчващи устройства, които обаче оказват влияние както върху количествените, така и върху качествените показатели на проникващата дневна светлина, което трябва да бъде отчетено с цел създаването на система за управление на осветлението, осигуряваща максимален комфорт на потребителите и минимална консумация на електрическа енергия за осветление [23] [24]. Създаването на система за управление, която едновременно удовлетворява максимално човешката потребност от светлина и намалява до минимум потреблението на електрическа енергия е сложна задача. Тя зависи от много фактори като наличие на дневна светлина, структура на сградния интериор и индивидуални предпочитания на потребителите относно светлинната среда [27].

Създаване на нов подход за управление на осветлението Посредством подробни симулационни модели на естествената светлина е възможно определянето на светлинни условия при които може да се постигне намаляване на консумираната за осветление електрическа енергия и увеличаване на комфорта и продуктивността на потребителите. За реализирането на тези светлинни условия е необходимо използването на съвременни осветителни уредби и нов подход за управление на осветлението. Докато конвенционалните системи за управление на изкуственото осветление следят за поддържане на нивото на осветеност на работната повърхност, а съществуващите системи за управление на естественото осветление работят в зависимост от яркостта на небосвода и условията на слънцегреене, при иновативните подходи за управление на осветлението трябва да се използват допълнителни качествени показатели

3. ПОДГОТВИТЕЛНА РАБОТА

Определяне на допълнителни качествени показатели В основата на предстоящата работа по проблемите, разглеждани в настоящата публикация са заложени резултатите от съществуващи изследвания и предишни разработки на авторите.

Субективната оценка на качеството на осветлението и светлинната ситуация на помещенията е изследвана от *Kirsch* [4] посредством експериментална стая със

светлинен симулатор. Изследването потвърждава, че яркостта на стените и съотношението на яркостите в полето на наблюдение са по-важни от хоризонталната осветеност при оценка на наситеността на помещението със светлина.

Изследване на *Liedtke* [15] върху равномерността на вертикалната осветеност на работни места при условия на естествено осветление показва, че неравномерното разпространение на естествената светлина е благоприятно например за адекватно осветяване на човешките лица.

С цел определяне на посоката и количественото разпределение на пряката и разсеяната светлина, *Liedtke* и колеги предлагат два подхода за анализ на светлинните сцени: определяне на посока на падане на светлината и определяне на пространственото тяло на светлината [11]. Направена е оценка на предимствата и недостатъците на този подход [9], като е необходимо допълнително изследване.

В предишна разработка на автора е предложен подход за управление на осветлението, целящ създаването на алгоритъм и система за интелигентно управление на изкуственото осветление в обществени сгради. Този подход минимизира консумацията на електрическа енергия за осветление, като се базира на предписаните от стандарта за вътрешно осветление количествени и качествени показатели. Създаденият алгоритъм за управление е резултат от решаване на оптимизационна задача с целева функция за намиране на минимум на консумацията на електрическа енергия за осветление. Оптимизационната задача е решена посредством еволюционен метод за оптимизация – генетичен алгоритъм. Създаденият подход за управление на осветлението е създаден като са използвани данни от експериментални изследвания на естественото осветление в обществени сгради в България [28]. В това изследване удовлетвореността на потребителите от работата на системата за управление на осветлението не е взета под внимание, както и новите количествени и качествени показатели, описани в литературния преглед.

4. ЦЕЛ НА ПУБЛИКАЦИЯТА

Целта на настоящата публикация е да даде насока и план за разработване на нов оптимизационен подход за управление на осветлението, който едновременно да удовлетворява физиологичните и психологически нужди на хората и необходимостта от постигане на енергийна ефективност. За постигане на поставената цел е необходимо да се решат следните задачи:

1. Да се проведе литературно проучване и обмен на опит с учени, работещи по проблемите за определяне на количествените и качествени показатели на дневната естествена светлина и нейните характеристики;
2. Да се изготви класификация на обществените сгради в съответствие с техния профил, светлинни отвори и географско изложение;
3. Да се изготвят симулационни модели на профила на естественото осветление за определените за референтни ситуации на помещенията, последвани от

експериментални изследвания на удовлетвореността на потребителите от постигнатите нива на дневна осветеност;

4. На базата на симулационните и експериментални резултати е необходимо да се дефинира оптимизационен подход за постигане на максимално удовлетворение на хората и минимално потребление на електрическа енергия, последван от избор на метод за оптимизация;
5. Да се направи анализ на получените от оптимизацията резултати и да се даде предложение за внедряването им в система за управление на осветлението, чиято работа при различни атмосферни условия да бъде сравнена с тази на съществуващи системи за управление, работещи в зависимост от наличието на дневна светлина.

5. ПЛАН ЗА РЕАЛИЗИРАНЕ НА ПОСТАВЕНИТЕ ЗАДАЧИ

Както беше посочено по-горе, използването на естествена светлина за осветление има голямо значение за хората, тъй като светлината може да повлияе на работоспособността и настроението им, мотивацията, поведението и комфорта. Още повече, че субективната човешка преценка за околното пространство се влияе основно от възприятието на околната яркост.

За осигуряване на добра визуална среда е необходимо изпълнението на следните задачи.

1. Определяне на количествените показатели и характеристики на дневната светлина. В съответствие с проведени и настоящи изследвания за определяне на количествените показатели на дневната светлина, съответни единици за оценката им по отношение на удовлетвореността на хората от светлинната среда в помещенията могат да бъдат дефинирани посредством обстоен литературен преглед и дискусии с колеги, работещи по описаните проблеми. Необходимо е да се направи оценка на това доколко количествените аспекти на естествената светлина отговарят на човешките потребности от нея. При направата на тази оценка е необходимо да се имат предвид различните предпочитания на индивидите в зависимост от тяхната възраст, пол, вид на зрителната задача, която изпълняват и вида на работната среда. Необходимо е да се извърши и оценка на визуалните и невизуални аспекти на дневната светлина и тяхната приложимост за целите на бъдещата разработка.

2. Класификация на помещенията. Необходимо е да се извърши диференциране на типовете сградна архитектура и възможните ситуации на осветяване на помещенията с дневно естествено осветление. Поради наличието на множество параметри, които оказват влияние на начина на навлизане и разпространение на естествената светлина в различните помещения, е необходимо обобщаването им. Това е възможно посредством проучване на най-масовите случаи, подчинени на подобие на архитектурните стилове, що се отнася до обществени сгради. Подобно проучване може да се извърши с помощта на литературен преглед, който да доведе до извършването на класификация на помещенията в обществените сгради, според техният профил и размери, конфигура-

ция на прозоречните площи, системи за засенчване и географско изложение. Извършването на подобна класификация дава възможност за определяне на най-често срещаните конфигурации на помещения в обществени сгради и техните светлинни ситуации, които да се използват като референтни. Класификацията ще бъде изготвена и по отношение функцията и ориентацията на помещенията.

При оценка на наситеността на пространството в дадено помещение със светлина, начинът по който последното е осветено е по-важен, отколкото количеството светлина, която попада върху хоризонталната работна повърхност. Тъй като естествената светлина обикновено навлиза в помещенията странично, посредством прозорци, тя ги осветява по начин, различен от начина на осветяването им с изкуствено осветление. Тъй като естествената светлина е предпочитана от хората е предвидено посоката на разпространение на светлината да бъде разглеждана като качествен показател. Количествено, естествената светлина ще бъде оценявана посредством количеството на попадналата светлина и пространственото тяло на падащата светлина.

3. Наличие на естествена светлина. С цел получаване на по-подробна информация за начина на проникване на естествената светлина в различни вътрешни пространства и разпространението ѝ по подходящ начин при различните ситуации, разглеждани в проекта, се предвижда изготвянето на различни симулационни профили на разпространение на естествената светлина. За целта е необходимо използването на специализиран софтуер (*Daysim*, *Radiance* and *ADELIN*E), като се използват климатични файлове, които дават подробна информация за промяната на естествената светлина в денонощен и годишен аспект.

3. Влияние на посоката на разпространение на светлината върху хората. Необходимо е извършването на експериментално изследване и анализ на предложените референтни светлинни ситуации по отношение на възприемането им от хората. Предвижда се определянето на корелационната връзка между определените профили на естествената светлина и субективната човешка реакция при всеки от тях.

4. & 5. Стратегии за управление на осветлението. В зависимост от получените резултати е необходимо да бъде дефинирана оптимизационна задача за начина на управление на осветлението. Оптимизационната задача ще бъде така дефинирана, че да удовлетворява едновременно човешките потребности и изискванията за постигане на енергийна ефективност. Необходимо е подготвянето на математически модел, адекватен на поставената оптимизационна задача с целева функция максимално използване на естествена светлина в помещенията, определени за референтни и съответни ограничителни условия. За решаването на така дефинираната оптимизационна задача ще бъдат използвани различни подходи – както нови еволюционни, така и класически. Крайният резултат от работата по проекта, ще бъде получаването на алгоритъм за оптимално управление на осветлението, който едновременно да удовлетворява човешките потребности и изискванията за енергийна ефективност.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценявайки съществуващото състояние на проблема и резултатите от различни проучвания, е необходимо извършването на по-комплексно изследване на възможностите за постигане на максимална удовлетвореност на хората и минимална консумация на електрическа енергия с цел създаване на нов подход за управление на осветлението, включващ допълнителни качествени показатели.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Khlifi A., M. Krarti, *Genetic-Algorithm Based Controls for Daylighting*, ASME 2006 International Solar Energy Conference Denver, Colorado, USA, July 8–13, 2006
- [2] Veitch J., G. Newsham, R., *Determinants of lighting quality I: State of the science*, Journal of the Illuminating Engineering Society, 27(1), 92-106, 1998
- [3] EN12464-1 Light and Lighting. Lighting of work places - Part 1: Indoor work places, 2011
- [4] Kirsch R., *A Holistic Approach to Energy Efficiency and Lighting Quality in Office Spaces*, Lux Junior 2013, Doernfeld, Germany, September 27-30, 2013
- [5] Veitch J., *A Psychological Processes Influencing Lighting Quality*, Journal of the Illuminating Engineering Society, 30(1), 124-140, 2001
- [6] Liedtke C., *Criteria for lighting quality in interiors*, Lux Junior 2011, Doernfeld, Germany, , September 23 – 25, 2011
- [7] Schmits P., C. Liedtke, *Vertical illuminance for visual communication*, Lux Europa 2009, 11th European Lighting Conference, Istanbul, Turkey, 9 – 11 September 2009
- [8] Nassar A., M. El-Ganainy, F. Moktader, S. El-Kareem, M. Haridi, *Cylindrical illuminance and its importance in integrating daylight with artificial light*, Lighting Research and Technology; 35; 217, 2003
- [9] Liedtke C., Rothert, I., *Receiver related approaches for the description of light direction and directional light in interiors*, Lux Junior 2013, Doernfeld, Germany, September 27-30, 2013
- [10] Liedtke C., P. Schmits, S. Völker, *The diversity of vertical illuminances - Is there a need of limitation for pleasant modelling at work places?*, 2nd CIE Expert Symposium on Appearance: When Appearance meets Lighting..., 115-116, 2010
- [11] Liedtke, C., S. Völker, M. Knoop, *The Light Direction and Directional Light—towards a new Quantification of an Essential Lighting Quality Criterion*, Proceedings of CIE Centenary Conference, 542–551. 2013
- [12] De Carli M., V. De Giuli, *Optimization of Daylight in Buildings to Save Energy and to Improve Visual Comfort: Analysis in Different Latitudes*, Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland July 27-30, 2009

- [13] Rea M., M. Figueiro, J. Bullough, *Circadian Photobiology: an Emerging Framework for Lighting Practice and Research*, Lighting Res. Technol. 34(3) 177–190, 2002
- [14] de Vries A., M. Aarts, M. Knoop, H. Cornelissen, *Beneficial non-visual effects of daylight, research into the influential parameters*, Lux Europa 2009, 11th European Lighting Conference, Istanbul, Turkey, 9 – 11 September 2009
- [15] Liedtke C., *Vertical Illuminance in Workspaces - Levels & Uniformity*, Adjunct proceedings Experiencing Light 2009: International conference on the effects of light on wellbeing, Eindhoven, the Netherlands, Eindhoven University of Technology, October 26-27, 2009
- [16] Tuaycharoen N., P. Tregenza, *View and Discomfort Glare from Windows*, Lighting Research and Technology 39(2), 185–200, 2007
- [17] Mardaljevic J., L. Hescong, M. Archb, E. Lee Mac, *Daylight Metrics and Energy Savings*, Lighting Res. Technol. 41, 261–283, 2009
- [18] Geebelen B., M. van der Voorden, H. Neuckermans, *Fast and Accurate Simulation of Long-Term Daylight Availability Using the Radiosity Method*, Lighting Res. Technol. 37(4) 295-312, 2005
- [19] Mardaljevic J., *Simulation of Annual Daylighting Profiles for Internal Illuminance*, Lighting Research and Technology 32 (3); 111 - 118, 2000
- [20] DiLouie C., *Lighting and Productivity: Missing Link Found?*, Architectural Lighting Magazine, vol. Sep/Oct, 2003
- [21] Roche L., E. Dewey, P. Littlefair, *Occupant Reactions to Daylight In Offices*, Lighting Research and Technology 32(3) 119 – 126; 2000
- [22] Mills E., *Global Lighting Energy Savings Potential*, Light and Engineering, vol. 10, pp. 5-10, 2002.
- [23] Dubois M., *Shading Devices and Daylight Quality: an Evaluation Based on Simple Performance Indicators*, Lighting Res. Technol. 35 (1); 61–76; 2003
- [24] Parkl C., G. Augenbroe1, T. Messadi, *Daylighting Optimization in Smart Façade Systems*, Eighth International IBPSA Conference Eindhoven, Netherlands August 11-14, 2003
- [25] Littlefair, P. J., *Predicting Lighting Energy Use Under Daylight Linked Lighting Controls*, Building Research and Information 26 (4), pp. 208 – 222, 1998
- [26] Wen Yao-Jung, Alice M. Agogino, *Wireless Networked Lighting Systems for Optimizing Energy Savings and User Satisfaction*, Proceedings of Wireless Hive Networks Conference, Austin, Texas, USA, August 07-08, 2008
- [27] Altomonte S., *Daylight and the Occupant Visual and Physio-Psychological Well-Being in Built Environments*, PLEA2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City, Canada, June 22-24, 2009

[28] Toepfer H., I. Petrinska, *Energy harvesting for wireless sensor networks*, CEMOEE 2010, International PhD Seminar on Computational Electromagnetics and Optimization in Electrical Engineering, invited paper, Sofia, Bulgaria, September 10-12, 2010

Автори: Ива Чавдарова Петринска, гл. ас. д-р инж., Електротехнически Факултет, Технически Университет – София, E-mail adress: ipetrinska@tu-sofia.bg ; Дилян Димитров Иванов, маг. инж., докторант, Електротехнически Факултет, Технически Университет – София, E-mail adress: dilyanivanov@tu-sofia.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент гл. ас. д-р инж. Камелия Николова

ПАРАМЕТРИ И РЕЖИМИ НА РАБОТА НА АНТИПАРАЛЕЛНО СВЪРЗАНИ СВЕТОДИОДИ ПРИ ЗАХРАНВАНЕ С ПОСТОЯННО И ПРОМЕНЛИВО НАПРЕЖЕНИЕ

Йордан Шопов, Симона Петракиева, Захари Иванов

Резюме: Включването на антипаралелно свързани светодиоди директно към захранващата мрежа с използването на един реактивен елемент (C или L) вместо електронен драйвер може да се приложи, когато се търси просто схемно решение и висока надеждност при експлоатация. В настоящата статия са направени измервания на осветеността като функция на тока и е извършен сравнителен анализ при два режима – конвенционално и променливотоково захранване. В първия случай 4 броя светодиода са свързани последователно и са захранени от постояннотоков източник, а във втория са свързани антипаралелно по двойки и са захранени от променливотоков източник. И в двата случая източниците позволяват плавно регулиране на тока през светодиодите, за конкретно изследване в определен диапазон. Резултатите от направените измервания определят областите на приложение на разгледаните схемни решения.

Ключови думи: захранване на светодиоди, схеми и приложения на светодиоди

PARAMETERS AND OPERATING MODES OF ANTIPARALLEL LIGHT EMITTING DIODES IN DC AND AC SUPPLYING

Yordan Shopov, Simona Petrakieva, Zahari Ivanov

Abstract: Connecting the anti-parallel light emitting diodes directly to the power supplying network using one reactive element (C or L) instead of electronic driver can apply when it is looking for simple scheme solution with high exploitation reliability. In the paper is measured the luminance and it is made a comparative analysis in two modes – DC and AC power supplying. In first case 4 LEDs are in serial connection and are supplied from DC source, but in the second one are connected in antiparallel in pairs and are supplied from AC source. In both cases the sources allow smoothly control of the current through the LEDs.

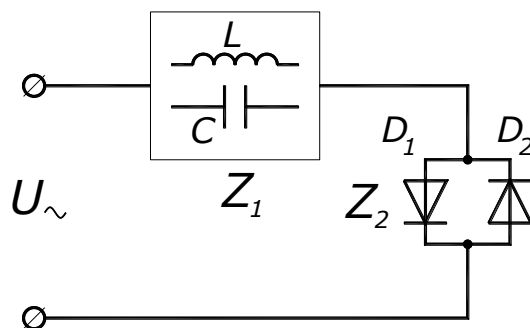
The results determine the application areas of the proposed schemes' solutions.

Key words: LED supplying, scheme solutions with LED, applications of LED

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Поради нелинейния характер на волтамперната характеристика на светодиодите, за гарантиране на тяхната нормална и продължителна експлоатация обикновено те се включват в схеми, захранвани със стабилизирани източници на ток или на напрежение [2, 3]. Конвенционалното решение е прилагане на стабилизация по ток.

Често в практиката се предпочитат евтини и надеждни осветители, които да не изискват сложно поддържане при експлоатация. Едно такова решение е предложено в [1]. Основната идея е токът през светлинния източник да се определя от последователно включен на светодиодите реактивен елемент (L , C или комбинация от тях) вместо драйвери, съдържащи скъпи електронни компоненти. В случая реактивният елемент определя стойността на тока. Принципът на действие е показан на фиг.1.



Фиг.1. Схема с условен „източник“ на ток.

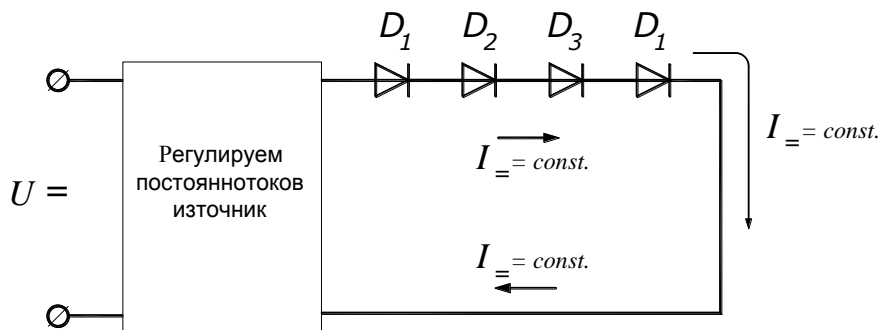
Схемата с условен „източник“ на ток е приложима при използване на 1, 2 или повече двойки антипаралелно свързани светодиоди. Очевидно е, че надеждността на това решение с един реактивен елемент (напр. C), определящ стойността на тока във веригата е много по-голяма, отколкото при използване на електронна схема с няколко десетки електронни компонента.

За сравнение на светлинния поток на светодиодите при различни схеми на свързване е измервана осветеността във фотометъра. В конкретния случай за измерване на осветеността, като функция на тока при постоянно- и при променливотоково захранване, са реализирани две различни схеми чрез промяна на свързването на четири еднакви светодиода. Експерименталните резултати от измерванията за двата случая са дадени в табличен и графичен вид. След анализ на тези резултати са направени изводи и са дадени препоръки за подходящи области на приложение на предложените схемни решения.

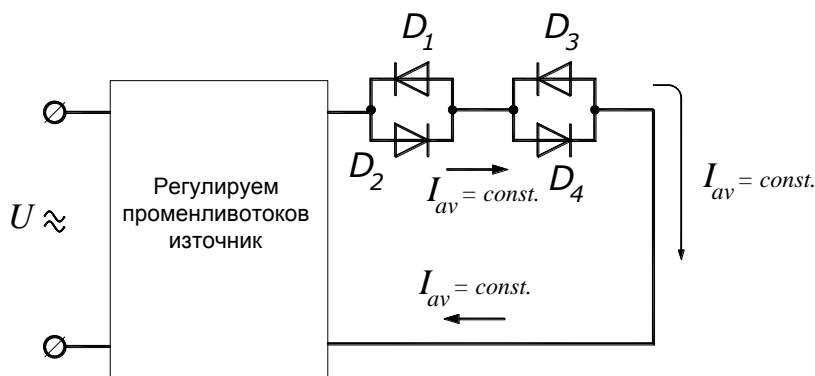
2. ИЗМЕРВАНЕ НА ОСВЕТЕНОСТТА ПРИ РАБОТА НА СВЕТОДИОДИ ПРИ ПОСТОЯННО И ПРИ ПРОМЕНЛИВОТОКОВО ЗАХРАНВАНЕ

Схемите, по които са проведени измерванията на осветеността в зависимост от тока през светодиодите, при двата варианта - постоянно- и променливотоково захранване, са показани съответно на фиг.2 и фиг.3.

В първия случай през четирите последователно свързани светодиода протича константен постоянен ток $I_{=}$, а във втория през всяко рамо на двете двойки антипаралелно свързани светодиода (през съответния полупериод) протича ток с постоянна средна стойност I_{av} .



Фиг.2.



Фиг.3.

Измерванията при двете схеми са при идентични условия и са проведени в кубичен фотометър. Четирите светодиода са поставени вътре, като по този начин са изолирани напълно от външни влияния. Те са закрепени върху метална пластина и са разположени във върховете на квадрат със страна 32 mm . Разстоянието между светодиодите и фотоприемника на луксметъра е 160 mm . Осветеността се измерва с луксметър тип Mastech MS6610.

Целта на проведените експерименти е след измерването да се анализират конкретни предимства и недостатъци на предложените схемни решения (основно при променливотоково захранване) и да се дадат препоръки относно евентуалните области на приложение в практиката.

3. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ИЗМЕРВАНИЯТА

Резултатите от измерванията при постояннотоково и при променливотоково захранване са дадени съответно в табл.1 и табл.2. И в двата случая е измерена осветеността E като функция на тока, като в първия се регулира и поддържа

константен постоянен ток I_{\pm} , а във втория - променлив ток с постоянна средна стойност I_{av} . Графичната им визуализация е показана на фиг.4.

Таблица 1

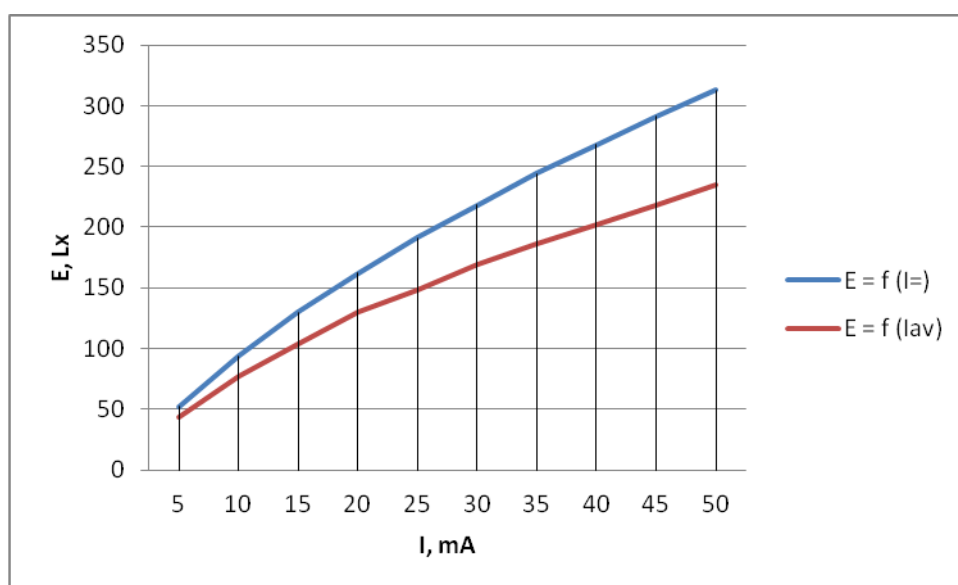
$E = f(I_{\pm})$ при постояннотоково захранване

I_{\pm}, mA	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
E, Lx	52	94	130	162	191	218	244	268	291	313

Таблица 2

$E = f(I_{av})$ при променливотоково захранване

I_{av}, mA	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
E, Lx	44	77	104	130	148	169	186	202	218	235



Фиг. 4. Изменение на осветеността в зависимост от тока през светодиодите при постояннотоково и при променливотоково захранване

От графиките се отчита, че при схемата с променливотоково захранване на светодиодите, стойностите на осветеността са по-малки в сравнение със случая при конвенционално захранване. Понижените стойности са в резултат на по-ниската цветна температура при променливотоково захранване.

В този случай, като положителен ефект се получава намаляване на работната температура на светодиодите, тъй като всеки от тях работи само през положителния (съответно само през отрицателния) полупериод на тока.

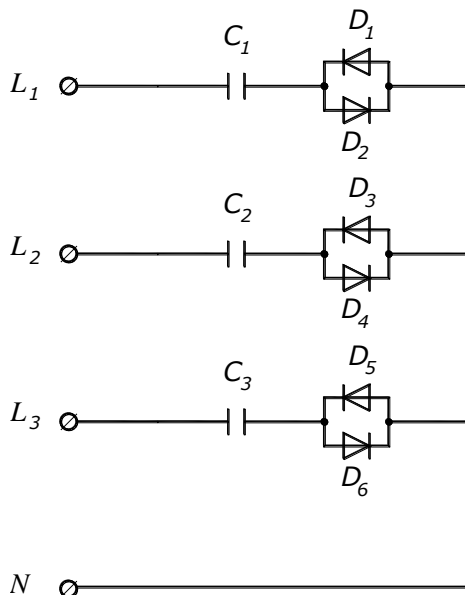
Като недостатък на тази схема е факта, че при монофазно захранване съществуват пулсации с честота $100 Hz$. Това може да се подобри чрез допълнително включване на двойки светодиоди през комбинации от реактивни елементи – L и C , с което да се получи фазово изместване спрямо основната честота.

Ако се използва трифазно симетрично захранване честотата на пулсациите ще

бъде 300 Hz. Това е напълно приемливо и допустимо решение даже при продължителен престой при осветление с такава честота.

По тази причина схемата с променливотоково захранване може да се използва напр. за осветление в асансьори, които се захранват трифазно. В този случай пулсациите ще бъдат незначителни.

На фиг.5 е дадена примерна схема за трифазно захранване.



Фиг.5.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерените по-ниски стойности на осветеността и наличието на пулсации не предполагат използването на предложените в настоящата статия схемни решения в случаите, когато се изисква високо качество на осветлението.

Препоръчително е те да се прилагат, когато качеството не е определящо, а от значение е простотата и надеждността на осветителя.

Примерни области за тяхното използване са в складови помещения, коридори, тавани, мазета, асансьори (а при наличие на трифазно захранване може да се приложи като компромисно приемливо решение и в други случаи).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шопов, Й., С. Петракиева, *Приложение на светодиоди при променливо-токови режими*, V Научна конференция ЕФ 2013, Созопол, 2 - 5.09.2013 г., Годишник на ТУ - София, том 63, кн. 5, ISSN: 1311-0829, стр. 423-427.
- [2] Иванов, З., *Светлинни източници*, 2008, София, Авангард Прима, стр. 92-101.

[3] <http://www.cree.com/led-components-and-modules>

Автори: Йордан Шопов, доц. д-р, катедра „Електрически апарати”, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: shopov@tu-sofia.bg; Симона Петракиева, доц. д-р, катедра „Теоретична електротехника”, Факултет Автоматика, Технически Университет - София, E-mail adress: petrakievas-te@tu-sofia.bg; Захари Иванов, доц. д-р, катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електрически транспорт”, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: zai@tu-sofia.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензия: проф. д-р инж. Ангел Пачаманов

АНАЛИЗ НА ОСВЕТЛЕНИЕТО В ОРУ НА ПОДСТАНЦИИТЕ В МЕР СОФИЯ ГРАД

Ива Драганова, Валентин Колев, Стилиян Чешмеджиев

Резюме: Основната цел на изследването е увеличаване на енергийната ефективност, намаляване на разходите за електроенергия, консумирана от осветителните уредби в подстанциите на територията на страната и подобряване на реализираните осветености.

Ключови думи: енергийната ефективност, осветление.

ANALYSIS OF LIGHTING SWITCHYARD SUBSTATION IN MAINS OPERATIONAL DISTRICT SOFIA CITY

Iva Draganova, Valentin Kolev, Stiliqn Cheshmedjiev

Abstract: The main purpose of this study is to increase energy efficiency, reduce the cost of electricity consumed by lighting systems in substations across the country and improvement of the realized illumination.

Keywords: energy efficiency, Lighting.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Откритите разпределителни уредби (ОРУ) на подстанциите са разположени на големи площи. За нормалната експлоатация на съоръженията в ОРУ са изградени осветителни уредби, които осигуряват работно, охранно и аварийно осветление. Понастоящем осветлението на подстанциите се осъществява с осветителни уредби с натриеви лампи високо налягане (НЛВН); живачни лампи високо налягане (ЖЛВН) и компактни луминесцентни лампи (КЛЛ). Същите имат голям разход на енергия, относително малък експлоатационен живот. Съгласно разпоредбите на „Наредба за изискванията за пускане на пазара на електрическо и електронно оборудване и третиране и транспортиране на отпадъци от електрическо и електронно оборудване” подлежат на събиране и рециклиране по установен ред.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

В света се произвежда все по-голямо количество електроенергия и според някои оценки около 30% от нея се използва изключително за осветление. Тъй като става дума за огромни разходи в световен мащаб, е жизненоважно да се повиши ефективността на изкуственото осветление. В много от държавите по отноше-

ние на външното осветление основната политиката е осветяването на всички населени места да става с възможно най-ефективните способности и средства. Цената на електроенергията е висока, а дългосрочните тенденции са насочени към повишаването ѝ. Изследванията показват, че в едно съвременно промишлено предприятие разходите за осветление формират 15 - 20% от общите разходи за електроенергия. Друг аспект на разходите за изкуствено осветление е неговата експлоатация и поддръжка. През последните години се наблюдава сериозно нарастване на услугите за поддръжка на техническите съоръжения, в частност на осветлението. Това е причината да се обръща все по-голямо внимание на този аспект от разходите за осветителни уредби. Съвременните подходи при проектирането и изграждането им предвиждат използването на енергоефективни светлинни източници и осветителни тела, имащи добри експлоатационни характеристики. Целта е очевидна - по време на експлоатационния им живот, източниците да работят икономически ефективно, като удовлетворят хигиенните норми на осветеност. Нивото на осветеност следва да се съобрази с конкретната зрителна задача, която ще изпълняват работещите. Необходимо е да се намери стойност на осветеността, при която разходите за осветление са оптимални, като се вземат под внимание производствените фактори, зрителната задача, както и здравословните и безопасни условия на труд.

Организационната структура на дирекция Експлоатация и ремонт на преносната мрежа (ЕРПМ) включва направления Експлоатация и ремонти с 13 мрежови експлоатационни района (МЕР) и 15 мрежови експлоатационни подрайона (МЕПР), които обхващат цялата територия на България. Обект на дейността е експлоатацията и поддръжката на активите на електропреносната мрежа на страната както следва:

- електропроводни линии с обща дължина 14 752 км, в това число електропроводи 750 kV – 85 км, 400 kV – 2257 км, 220 kV – 2792 км и 110 kV – 9618 км.
- електрическите подстанции – 290 електрически подстанции, в това число: подстанции 750/400kV - 1бр., подстанции 400/220/110kV - 6 бр., подстанции 400/110 kV – 7 бр., възлова подстанция 400 kV – 1 бр., 220/110 – 18 бр. и подстанции 110/ Ср. Н. - 257 броя.

Основните задачи, които дирекцията изпълнява при осъществяване на дейността си са:

- текущо поддържане и ремонт на електропроводи и уредби ВН и Ср.Н в подстанции;
- осигуряване на периодичен технически контрол на състоянието на съоръженията;
- електрически измервания и диагностика на съоръжения ВН и Ср.Н;
- осигуряване на безопасни условия на труд и пожарна безопасност.

Таблица 1

Разпределение на осветителните тела по електрическа мощност

Подстанция	тип	брой	мощност лампа[kW]	Общо[kW]	Мощност (лампа +ПРА) [kW]	Общо [kW]
Хаджи Димитър	НЛВН	14	0.07	0.98	0.084	1.176
	КЛЛ	10	0.055	0.55	0.066	0.66
София Юг	НЛВН	79	0.07	5.53	0.084	6.636
	Н.Ж.	20	0.15	3	0.1875	3.75
	Ж.Л.	18	0.125	2.25	0.15625	2.8125
София Изток	НЛВН	17	0.07	1.19	0.084	1.428
	Ж.Л.	12	0.125	1.5	0.15625	1.875
	Н.Ж.	5	0.15	0.75	0.18	0.9
Модерно предгра- дие	НЛВН	26	0.07	1.82	0.084	2.184
	Ж.Л.	8	0.15	1.2	0.1875	1.5
Металургична	МХЛ	35	0.15	5.25	0.1875	6.5625
	НЛВН	50	0.07	3.5	0.084	4.2
Курило	НЛВН	22	0.07	1.54	0.084	1.848
	Ж.Л.	4	0.16	0.64	0.184	0.736
Красно село Княжево	НЛВН	20	0.07	1.4	0.084	1.68
	НЛВН	15	0.07	1.05	0.084	1.26
	Н.Ж.	5	0.15	0.75	0.1875	0.9375
Камбаните	КЛЛ	15	0.055	0.825	0.066	0.99
	ЕСЛ	3	0.023	0.069	0.02645	0.07935
Казичене	НЛВН	42	0.07	2.94	0.084	3.528
	КЛЛ	36	0.055	1.98	0.066	2.376
	Ж.Л.	5	0.125	0.625	0.15625	0.78125
Искър Индустрия Димитър Димит- ров	НЛВН	17	0.07	1.19	0.084	1.428
	Ж.Л.	18	0.125	2.25	0.15625	2.8125
	Ж.Л.	7	0.5	3.5	0.625	4.375
Връбница Военна рампа	КЛЛ	17	0.023	0.391	0.02645	0.44965
	Ж.Л.	6	0.25	1.5	0.3125	1.875
	НЛВН	1	0.07	0.07	0.084	0.084
Бухово	Ж.Л.	7	0.125	0.875	0.15	1.05
	НЛВН	7	0.07	0.49	0.084	0.588
Банкя	КЛЛ	20	0.055	1.1	0.066	1.32
	Ж.Л.	2	0.25	0.5	0.3125	0.625
Общо:				51.21kW		62.51kW

В рамките на обследването влизат 16 подстанции. Средногодишната консумация на електрическа енергия за осветлението на ОРУ е около 62.51 kW. Управлението на външното осветление е със фоторелета, които имат редица недостатъци. Ненавременното включване и изключване води до преразход на електрическа енергия. Основните светлинни източници, използвани в ОРУ са живачни лампи с мощност основно 250W и в определени случаи 125W и 400W, натриеви лампи високо налягане 70W, компактно луминесцентни лампи 55W, а на места все още има и нажежаема лампи. Те, заедно със съществуващите пускорегулиращи апаратури ПРА са със незадоволителни енергийно-икономически и експ-

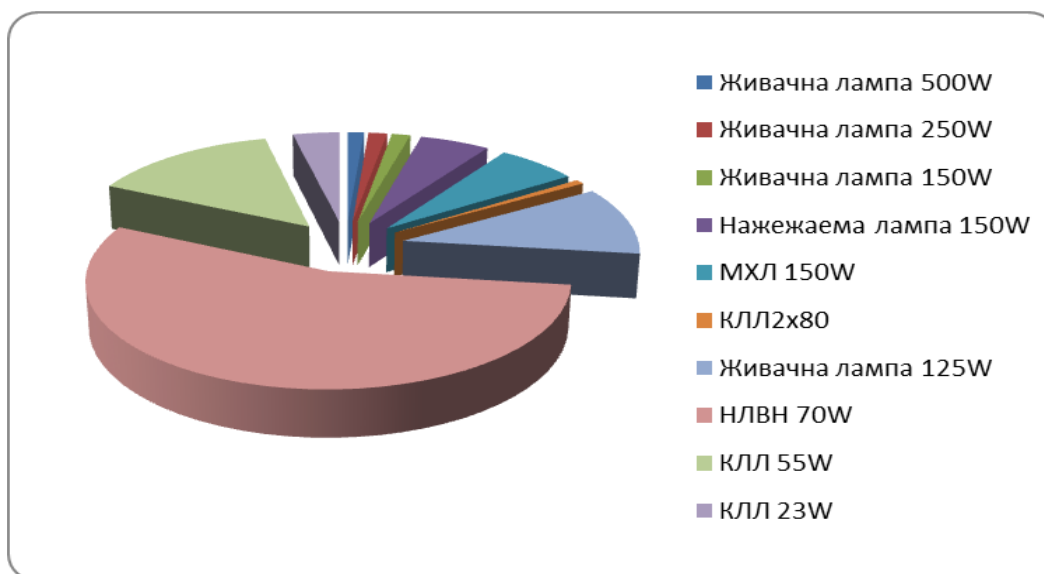
лоатационни характеристики. Осветителите са морално и физически остарели, с ниска степен на защита и неефективна оптична система, т.е. имат неефективно светлоразпределение, което води до много големи загуби и незадоволителна осветеност и равномерност на алеите.

Осветителните тела в ОРУ са морално и физически остарели, с лоши светлотехнически и енергийни показатели и неадекватна степен на защита. Голяма част от тях не работят, основно по следните причини: осветителните тела са амортизирани, с дефектирали ПРА и светлоизточници. Ориентировъчното разпределение на осветителните тела по електрическа мощност и вид на светлоизточника е представено в табл.1.

В следващата табл.2 са представени използваните светлинни източници за осветлението в ОРУ на подстанциите в МЕР София град. Както се вижда, през годините голяма замяна е направена с натриеви лампи високо налягане 70W. На фиг.1 е представено процентното разпределение на светлинните източници.

Таблица 2
Тип светлинни източници в ОРУ

Тип светлинен източник	Брой
Живачна лампа 500W	7
Живачна лампа 250W	8
Живачна лампа 150W	8
Нажежаема лампа 150W	30
МХЛ 150W	35
КЛЛ2x80	4
Живачна лампа 125W	60
НЛВН 70W	310
КЛЛ 55W	81
КЛЛ 23W	20



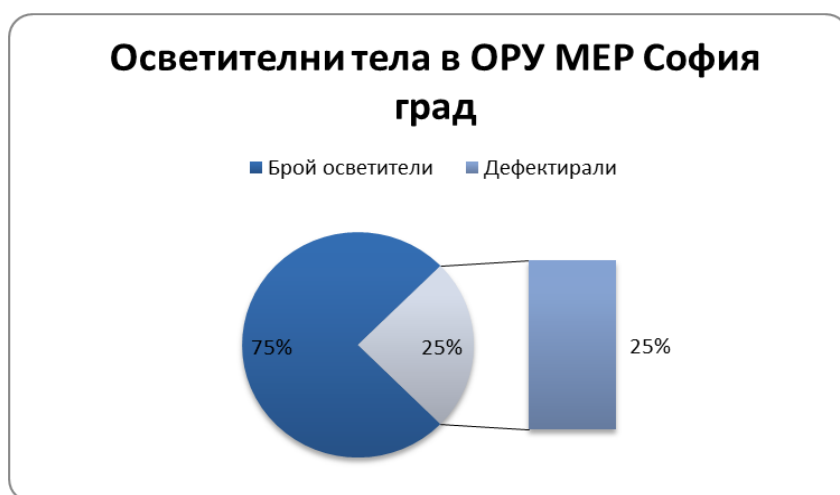
Фиг.1. Процентно разпределение на светлинните източници в ОРУ МЕР София

Както се вижда осветителните тела, монтирани на територията на София, са основно натриеви лампи високо налягане (НЛВН). На фиг.2 е показано процентното разпределение на различните видове светлинни източници използвани за осветлението на ОРУ в МЕР София град.

Таблица 3

Дефектирали осветителни тела по подстанции

Подстанция	Брой осветители	Брой дефектирали осветители
Хаджи Димитър	24	9
София Юг	134	61
София Изток	17	1
Модерно предградие	34	23
Металургична	85	36
Курило	26	3
Красно село	20	1
Княжево	20	4
Камбаните	18	0
Казичене	83	36
Искър Индустрия	17	0
Димитър Димитров	25	3
Връбница	17	2
Военна рампа	7	6
Бухово	14	1
Банкя	22	0
	563	186



Фиг.2. Процентно разпределение на дефектирали осветители в ОРУ МЕР София.

Осветителните уредби са изпълнение с паркови осветителни уредби с натриеви лампи високо налягане (НЛВН); живачни лампи високо налягане (ЖЛВН) и улични осветителни тела с компактни луминесцентни лампи (КЛЛ). Този тип осветители освен своята неефективност допринасят много за светлинното замърсяване на България. В страната има инсталирани около 1,1 милиона улични осветителни тела с мощност 85W (70W +загубите в ПРА) и около 70 000 кълбо-

ви паркови осветители. Общата инсталирана мощност от улични и паркови осветители е около 95MW, като средната годишна използваемост е около 4 000 часа и коефициент на едновременност $K_i > 0,95$. Годишното количество светлина излъчена от уличното осветление е 12,86x106Mlmh.

В съвременните електроцентрали управлението на основните апарати на ОРУ се извършва от командната зала, но операции с отделни елементи често се извършват от самото ОРУ. Редовно се прави преглед на състоянието на отделните съоръжения от електрообзавеждането. При това е необходимо да се определя положението на разединителите, нивото на маслото в трансформаторите, показания на различни контролни уреди и т.н. При аварии обслужващия персонал извършва различни операции и ремонтни работи. Това налага определени изисквания към изкуственото осветление, както по отношение на вертикалната осветеност, така и по отношение на хоризонталната осветеност и ограничаване на заслепяването.

Съвременните тенденции за осветяване на големи открити пространства, каквото е едно ОРУ са енергоспестяващите осветителни тела със светодиоди. Предвид спецификата на обекта е необходимо осветителните тела да се монтират извън територията на осветявания обект. Този начин на разполагане осигурява независима поддръжка на осветителната инсталация от работата на ОРУ. Основната цел на обследването трябва да бъде набелязване на пакет технически мерки, водещи до подобряване на реализираните осветености и намаляване на разходите за електроенергия, консумирана от районното осветление в подстанциите на територията на страната. Подобряването на енергийната ефективност следва да бъде изградено върху оптимизиране работата на външното осветление в подстанциите и да обхваща подмяна на съществуващите осветителни уредби с натриеви лампи високо налягане (НЛВН); живачни лампи високо налягане (ЖЛВН) и компактни луминесцентни лампи (КЛЛ) с нови, енергоефективни светодиодни осветителни уредби, което да доведе до значително намаляване на консумацията на енергия за осветление. Един от големите проблеми при външното осветление е поддръжката на осветителните уредби с подмяна на светлинни източници, почистване на телата и т.н. При светодиодните осветители има възможност за създаване на практически необслужваеми осветители с висока степен на защита (IP) и подходящ термоменижмънт, където времето на работа може да достигне до 80 - 100 хил. часа.

Осветителните уредби /ОУ/ са особен вид електрически уредби, които при проектирането им условно могат да се разглеждат като състоящи се от две части – светлотехническа и електрическа. В светлотехническата част се решават всички въпроси, свързани с качествата на ОУ (т.н. качествени и количествени показатели на осветлението) свързани с по-добро възприемане на наблюдаваните обекти и околното пространство, хигиена на зрението и стабилната работа на осветителите. В електрическата част се решават въпросите, свързани с непрекъснатостта на електрозахранването, електрическата и пожарната безопасност на ОУ.

Върху икономическата ефективност на осветителните уредби решаващо значение има светлотехническата част. Характерно за светлотехническата част на проектите, за какъвто и да е обект е, че избраните показатели могат да се реализират многовариантно (с различни видове осветителни тела по брой, мощност и тип на лампи, осветители с различни отражателни системи и разположение и др.). Поради тази особеност, в началния стадий на проектирането (например във фазата идеен проект), целесъобразно е да се разработват варианти само за светлотехническата част, те да се сравнят помежду си и да се избере оптималния вариант на ОУ.

В Европейският стандарт БДС EN 12464-2:2007 има посочени изисквания към светлотехническите показатели на осветителни уредби за подстанции, електроцентрали, газови централи и отоплителни централи.

Таблица 4

Подстанции, електроцентрали, газови централи и отоплителни централи

№	Тип площ, задача или дейност	E_{cp} , [lx]	U_o	GR_L	Ra	Забележка
1	Електрически безопасни места за движение на пешеходци	5	0,25	50	20	
2	Транспортиране на инструменти за обслужване	20	0,25	55	20	
3	Общ оглед	50	0,40	50	20	
4	Обща сервизна работа и отчитане показанията на апарати	100	0,40	45	40	
5	Обслужване и поддръжка на газови тунели	100	0,40	45	40	
6	Поправка на електронни устройства	200	0,50	45	60	Да се използва местно осветление

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените технически огледи и замерване на светлотехническите показатели на осветителните уредби в ОРУ на подстанциите на МЕР София град се установиха следните факти, които доказват, че състоянието на осветителната уредба е незадоволителна:

- лошо състояние на някои от осветителните тела;
- голям процент от осветителните тела са дефектирали;
- има на места смесване на различни типове светлинни източници, което води до светлинен дискомфорт и намаляване на показателите на осветителната уредбата;

- големи загуби на електроенергия в конвенционалните баластаи;
- незадоволителни количествени и качествени показатели на осветителната уредба;

ЛИТЕРАТУРА

[1] БДС EN 12464-2:2007 Светлина и осветление. Осветление на работни места. Част 2 – Работни места на открито.

Автори: Ива Димитрова Драганова, асистент инж., катедра „Електроенергетика“ (ЕЕ), Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail address: ivadraganova@tu-sofia.bg ; Валентин Генов Колев, доц. д-р инж., катедра „Електроенергетика“ (ЕЕ), Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail address: vkolev@tu-sofia.bg ; Стилиян Чешмеджиев, инж., ръководител МЕР София град, ЕСО ЕАД, E-mail address: s.cheshmedjiev@sfg.eso.bg

Постъпила на 15. 12. 2014 г.

Рецензент: проф. д-р инж. Ангел Пачаманов

ТЕХНИКО-ИКОНОМИЧЕСКИ АНАЛИЗ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИЯ НА ОУ В ОРУ НА ПОДСТАНЦИИТЕ В МЕР СОФИЯ ГРАД

Ива Драганова, Валентин Колев, Борислав Бойчев

Резюме: Проучването дава вариантен отговор за подходящ начин на осветление на ОРУ на подстанциите и подходи за усъвършенстване на съществуващия начин на осветление, които са технико-икономически приложими. Набелязано е трансформирането на сегашния начин на осветление и превръщането му в инструмент за икономически ефективно осветление на ОРУ на подстанциите, като се оценява приложимостта на новия начин за осветление.

Ключови думи: енергийната ефективност, осветление.

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF RECONSTRUCTION LIGHTING IN MAINS OPERATIONAL DISTRICT SOFIA CITY

Iva Draganova, Valentin Kolev, Borislav Boichev

Abstract: The study provides an optional response to adequately lighting of switchyard substation and approaches to improve on existing lighting which are techno-economically viable.

Keywords: energy efficiency, Lighting.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Разработката представя описание на предлагания начин на осветление на ОРУ на подстанциите, чрез съществуващите статични и динамични методи за оценка на инвестиционните процеси. Моделът съдържа анализ на съществуващия метод, както и избор или предложение за нов оптимален модел за осветление на ОРУ. Представените резултати и предложения са пригодни за използване от специалисти със средно ниво на знания по експлоатация на ЕЕС.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

След направените технически огледи препоръчваме замяна на съществуващите осветителни тела, които се установи, че в голямата си част (бройки и типове) не са енергоефективни, с изчерпан вече експлоатационен ресурс или вече са дефектирали или демонтирани, с нови светодиодни (LED) осветители последно поколение. Най-често срещаната задача при реконструкцията на външно осветление е използването на съществуващите стълбове и електрически мрежи да се демонтират старите улични и паркови осветителни тела и се монтират нови енергоефективни осветители. С настоящият анализ бихме желали да набележим ос-

новните мерки и покажем очаквания ефект от прилагането им за повишаване на енергийната ефективност на системите на осветлението в ОРУ на подстанциите, както следва:

- подмяна на осветителни тела (улични и паркови), инсталирани в тежка експлоатационна среда, с такива с повишени експлоатационни характеристики и повишена ефективност;
- преоборудване на съществуващите точки (стълбове) от външната мрежа с осветителни тела (улични или паркови) с такива с повишени експлоатационни характеристики и повишена ефективност;
- монтиране на влагозащитени контакти на всеки стълб.

Ефектът от прилагането на мерките следва да се разглежда в два основни аспекта - повишаване на енергийната ефективност и повишаване на експлоатационните характеристики на външното осветление.

За да се постигне нормативният зрителен нощен комфорт в ОРУ на подстанциите трябва да се извърши физическа замяна на съществуващите осветителни тела с нови, подходящо определени LED осветители и да се монтират на всички места, където има стълбове без лампи след извършване на светлотехнически изчисления.

По технически характеристики новите светодиодни осветители са с 50 000 часа живот или около 12.5 години. LED модулите, токозахранващите устройства и корпусите трябва да бъдат с живот 50 000 часа. Това означава чувствително спестяване на компонентите за подмяна, повече от 3 пъти спрямо осветителна уредба, в която се използват натриеви лампи високо налягане НЛВН (с цикъл на подмяна 16 000 часа или около 4 години). Компонентите за подмяна в осветителните тела ще бъдат практически никакви. Съществуващите осветители са с фактор на мощността 0,9, докато новите осветители ще бъдат с фактор 0.98. Всичко това ще доведе до намаляване на токовото натоварване на кабелите и следователно ще намалеят и аварията в кабелната мрежа.

В настоящия отчет предлагаме няколко варианта за осветление в ОРУ на подстанциите в МЕР София град. В стандарта 12 464-2:2007 са дадени определени стойности за покриването на изискванията на осветителната уредба за ОРУ на подстанциите. Осветлението в откритата разпределителна уредба ще се нормира като районно осветление, а при авария да се използват допълнителни прожекторни тела които да могат да бъдат насочени на точното място на повредата. Прожекторите ще бъдат лесно преносими и нямат да натоварват излишно системата. По този начин ще се реализира допълнителна икономия на електроенергия.

Тъй като в ОРУ има съществуващи осветителни тела и стълбове, и съответно изградена кабелна мрежа за тяхното захранване, ще се съобразим със съществуващото местоположение на стълбовете и ще използваме светодиоден осветител с подходяща светлоразпределителна крива, която да покрие количествените и качествени показатели. Тези осветителни тела могат да бъдат улични, паркови или прожекторни. Предложили сме три варианта и съответно технико-икономическите оценки към тях.

Във вариант №1 разглеждаме възможността да подменим всички осветителни тела с нови по – ефективни прожекторни светодиодни тела, с чупеща рогатка, с намалена консумация на електрическа енергия и с подобро КПД. За нуждите на конкретния обект ще бъдат използвани осветители със специално светлоразпределение за по – качествено и ефективно покриване на изискванията.

Светлотехническите изчисления са направени на база оглед на ОРУ на подстанциите в МЕР София град, като е взета една стандартна постановка. Изчисленията са направени с помощта на програма за светлотехнически изчисления Dialux. Изчислителното поле е с размери 50 метра /100 метра, като в средата има пешеходна алея с ширина 10 метра. Позиционирани са четири реда осветители, като са показани на фигурата. Осветителите са шахматно, което позволява реализиране на по-добра равномерност. Медустьълбието е 20 метра, а височината на стълба е 4,5 метра. За по-прецизни изчисления полето е разделено на две изчислителни повърхности. Едната обхваща цялото поле (50 мерта/100 метра), а другата изчислителна повърхност е върху самата алея (10 мерта /100 метра), където минават техническия персонал за оглед на обекта.

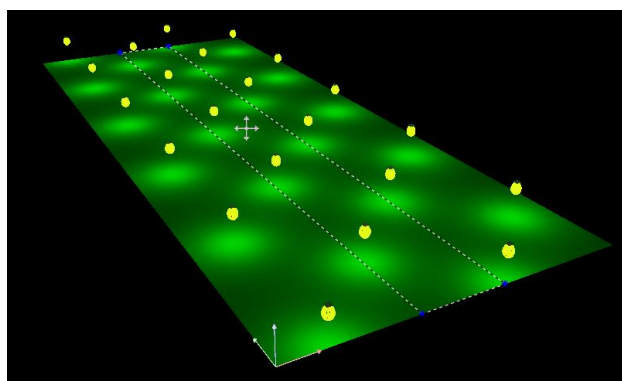


Таблица 1

Реализирани резултати Вариант 1

<i>Вариант №1 – Светлотехнически показатели с прожекторен осветител 30W16-230</i>	
Реализирани показателите в открита разпределителна уредба	
Средна осветеност $E_{av} = 11lx$	Минимална осветеност $E_{min} = 0,82lx$
Максимална осветеност $E_{max} = 63lx$	Обща равномерност $U_0 = 0,08$
Реализирани показателите на централната алея в ОРУ	
Средна осветеност $E_{av} = 13lx$	Минимална осветеност $E_{min} = 2,29lx$
Максимална осветеност $E_{max} = 63lx$	Обща равномерност $U_0 = 0,18$

Във вариант №2 разглеждаме възможността да подменим всички осветителни тела с нови по – ефективни улични светодиодни тела. Корпусът на уличното ос-

ветително тяло не се различава по нищо от това на прожекторното, но е със специални оптични лещи. Уличното осветително тяло има специфична светлоразпределителна крива. Тя може да постигне по – голяма обща и надлъжна равномерност с една и съща мощност на осветителя.

Таблица 2
Реализирани резултати Вариант 2

<i>Вариант №2 – Светлотехнически показатели с уличен осветител 40W24-230</i>	
Реализирани показателите в открита разпределителна уредба	
Средна осветеност $E_{av} = 11lx$	Средна осветеност $E_{av} = 11lx$
Максимална осветеност $E_{max} = 43lx$	Максимална осветеност $E_{max} = 43lx$
Реализирани показателите на централната алея в ОРУ	
Средна осветеност $E_{av} = 14lx$	Средна осветеност $E_{av} = 14lx$
Максимална осветеност $E_{max} = 43lx$	Максимална осветеност $E_{max} = 43lx$

Във вариант №3 предлагаме реконструкцията на осветителната уредба да бъде реализирана с паркови светодиодни осветители. Тяхната конструкция не както на кълбовите паркови тела и да излъчват в горната полусфера. Светлоразпределителната крива е подобна на тази на прожекторното тяло и постигат еднакви количествени и качествени показатели.

Таблица 3
Реализирани резултати Вариант 3

<i>Вариант №3 – Светлотехнически показатели с парков осветител 30W24-230</i>	
Реализирани показателите в открита разпределителна уредба	
Средна осветеност $E_{av} = 11lx$	Минимална осветеност $E_{min} = 0,82lx$
Максимална осветеност $E_{max} = 63lx$	Обща равномерност $U_0 = 0,08$
Реализирани показателите на централната алея в ОРУ	
Средна осветеност $E_{av} = 13lx$	Минимална осветеност $E_{min} = 2,29lx$
Максимална осветеност $E_{max} = 63lx$	Обща равномерност $U_0 = 0,18$

Предложените енергоспестяващи мерки са класифицирани като мерки с технически и мерки от организационен характер. В допълнение са предложени и съпоровождращи мерки, имащи пряко отношение към съществуващото техническо състояние, енергоспестяването и експлоатацията на външното осветление на подстанциите. На следващите таблици и фигури са представени таблично и графично спестената инсталирана мощност при всеки вариант.

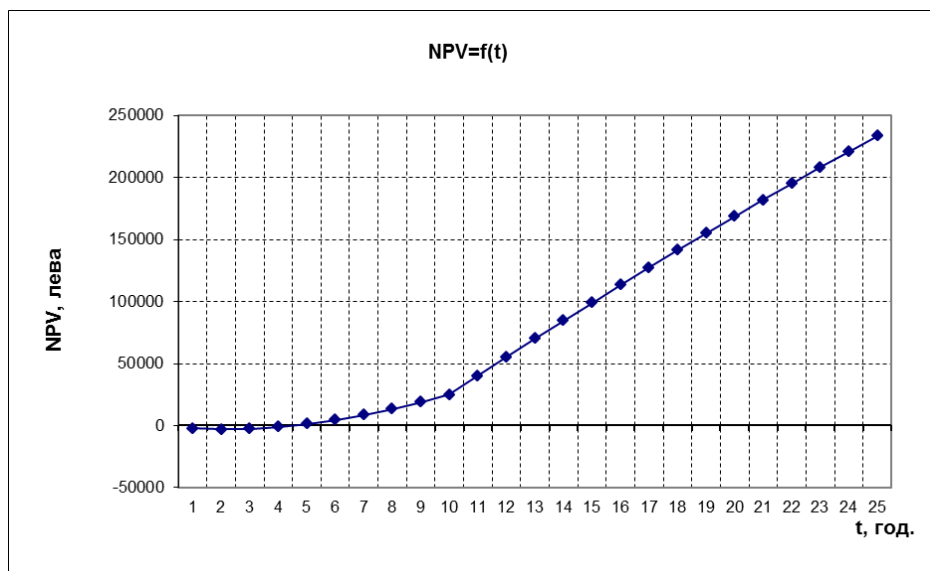
Вариант №1 / Вариант №3							
Подстанция	Съществуващо положение					След реконструкцията	
	брой	тип	мощност лампа	Мощност (лампа +ПРА)	Общо	Мощност (лампа +ПРА)	Общо
Хаджи Димитър	14	НЛВН	0.07	0.084	1.176	0.03	0,43
	10	КЛЛ	0.055	0.066	0.66	0.03	0,3
София Юг	79	НЛВН	0.07	0.084	6.636	0.03	2.37
	20	Н.Ж.	0.15	0.1875	3.75	0.03	0,6
	18	Ж.Л.	0.125	0.15625	2.8125	0.03	0,54
	17	НЛВН	0.07	0.084	1.428	0.03	0,51
София Изток	12	Ж.Л.	0.125	0.15625	1.875	0.03	0,36
	5	Н.Ж.	0.15	0.18	0.9	0.03	0,15
Модерно предградие	26	НЛВН	0.07	0.084	2.184	0.03	0,78
	8	Ж.Л.	0.15	0.1875	1.5	0.03	0,24
Металургична	35	МХЛ	0.15	0.1875	6.5625	0.03	1,05
	50	НЛВН	0.07	0.084	4.2	0.03	1,5
Курило	22	НЛВН	0.07	0.084	1.848	0.03	0,66
	4	Ж.Л.	0.16	0.184	0.736	0.03	0,12
Красно село	20	НЛВН	0.07	0.084	1.68	0.03	0,6
Княжево	15	НЛВН	0.07	0.084	1.26	0.03	0,45
	5	Н.Ж.	0.15	0.1875	0.9375	0.03	0,15
Камбаните	15	КЛЛ	0.055	0.066	0.99	0.03	0,45
	3	ЕСЛ	0.023	0.02645	0.07935	0.03	0,09
Казичене	42	НЛВН	0.07	0.084	3.528	0.03	0,26
	36	КЛЛ	0.055	0.066	2.376	0.03	1,08
	5	Ж.Л.	0.125	0.15625	0.78125	0.03	0,15
Искър Индустрия	17	НЛВН	0.07	0.084	1.428	0.03	0,51
Димитър Димитров	18	Ж.Л.	0.125	0.15625	2.8125	0.03	0,54
	7	Ж.Л.	0.5	0.625	4.375	0.03	0,21
Връбница	17	КЛЛ	0.023	0.02645	0.44965	0.03	0,51
Военна рампа	6	Ж.Л.	0.25	0.3125	1.875	0.03	0,18
	1	НЛВН	0.07	0.084	0.084	0.03	0,03
Бухово	7	Ж.Л.	0.125	0.15	1.05	0.03	0,21
	7	НЛВН	0.07	0.084	0.588	0.03	0,21
Банкя	20	КЛЛ	0.055	0.066	1.32	0.03	0,6
	2	Ж.Л.	0.25	0.3125	0.625	0.03	0,06
					62,51kW	16,89kW	

Вариант №2							
Подстанция	Съществуващо положение					След реконструкцията	
	брой	тип	мощност лампа	Мощност (лампа +ПРА)	Общо	Мощност (лампа +ПРА)	
Хаджи Димитър	14	НЛВН	0.07	0.084	1.176	0.042	5,88
	10	КЛЛ	0.055	0.066	0.66	0.042	4.2
София Юг	79	НЛВН	0.07	0.084	6.636	0.042	33.18
	20	Н.Ж.	0.15	0.1875	3.75	0.042	8.4
	18	Ж.Л.	0.125	0.15625	2.8125	0.042	7.56
	17	НЛВН	0.07	0.084	1.428	0.042	7.14
София Изток	12	Ж.Л.	0.125	0.15625	1.875	0.042	5.04
	5	Н.Ж.	0.15	0.18	0.9	0.042	2,1
Модерно предградие	26	НЛВН	0.07	0.084	2.184	0.042	10.92
	8	Ж.Л.	0.15	0.1875	1.5	0.042	3.36
Металургична	35	МХЛ	0.15	0.1875	6.5625	0.042	14.7
	50	НЛВН	0.07	0.084	4.2	0.042	21
Курило	22	НЛВН	0.07	0.084	1.848	0.042	9.24
	4	Ж.Л.	0.16	0.184	0.736	0.042	1.68
Красно село	20	НЛВН	0.07	0.084	1.68	0.042	8.4
Княжево	15	НЛВН	0.07	0.084	1.26	0.042	6,3
	5	Н.Ж.	0.15	0.1875	0.9375	0.042	2.1
Камбаните	15	КЛЛ	0.055	0.066	0.99	0.042	6.3
	3	ЕСЛ	0.023	0.02645	0.07935	0.042	1.26
Казичене	42	НЛВН	0.07	0.084	3.528	0.042	17.64
	36	КЛЛ	0.055	0.066	2.376	0.042	15.12
	5	Ж.Л.	0.125	0.15625	0.78125	0.042	2.1
Искър Индустрия	17	НЛВН	0.07	0.084	1.428	0.042	7.14
Димитър Димитров	18	Ж.Л.	0.125	0.15625	2.8125	0.042	7.56
	7	Ж.Л.	0.5	0.625	4.375	0.042	2.94
Връбница	17	КЛЛ	0.023	0.02645	0.44965	0.042	7.14
Военна рампа	6	Ж.Л.	0.25	0.3125	1.875	0.042	2,52
	1	НЛВН	0.07	0.084	0.084	0.042	0.42
Бухово	7	Ж.Л.	0.125	0.15	1.05	0.042	2.94
	7	НЛВН	0.07	0.084	0.588	0.042	2.94
Банкя	20	КЛЛ	0.055	0.066	1.32	0.042	8.4
	2	Ж.Л.	0.25	0.3125	0.625	0.042	0.84
					62,51kW	23,65kW	

Развивайки своята стопанска дейност всяка компания, в това число и Електроенергиен Системен Оператор, в определен момент се нуждаят от финансови средства, с които в момента не разполагат в наличност. В настоящата разработка предлагаме три варианта за финансиране на реконструкцията на външната осветителна уредба в ОРУ на подстанциите в МЕР София град: със собствени средства; с кредит 100%; с 50% кредит и 50% собствени средства.

1	Необходими инвестиции за дълготрайни активи.	хи.л. лв.	140 750
2	Размер на кредита	%	100%
3	Лихвен процент на банката	%	7.0%
4	Срока на погасяване на кредита	год.	10
5	Икономическият живот на новите дълготрайни активи	год.	25
6	Икономия на електроенергия в резултат на внедряване на енергоспестяващото технологично обновление	MWh/г.	182.48
7	Цената на електрическата енергия	лв./MWh	120
8	Увеличение на средната цена на електрическата енергия всяка год.	%	5.0%
9	Сконттов процент, г	%	8.0%
10	Годишни разходи за обслужване на инсталацията, % от цената на придобитите дълготрайни активи	%	0.1%

Срок на откупване (PBP)	5.4 години
NPV(30 год.)	233 442.08 лв
NPV/ K_{II}	1.66



В резултат от прилагането на енергоспестяващите мерки за реконструкцията на осветлението в ОРУ на подстанциите на МЕР София град ще бъдат реализирани следните икономии при предложените от екипа ни три варианта:

Показател	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Инсталирана мощност [kW]	16,89	23,65	16,89
Икономия на електроенергия [MWh/година]	182,48	155,44	182,48
Инвестиция [лв]	140 750	135 120	168 900
Срок на откупуване Кредит 0%	8,3	9,7	10,5
Срок на откупуване Кредит 50%	6,9	8,4	9,3
Срок на откупуване Кредит 100%	5,4	6,9	7,8

Реализирането на проекта ще доведе до подобряване на няколко показателя. Реконструкцията на осветителната уредба ще подобри светлотехническите показатели реализирани върху изчислителните повърхности.

Това ще даде възможност за по-добра видимост и следене на съоръженията на обекта.

По доброто осветление ще намали и криминалните прояви в тъмната част на денонощието. Поради намаляване на инсталираната мощност и консумацията на електрическа енергия, ще се доведе до намаляване на емисията на парникови газове.

От получените резултати се вижда, че най-благоприятен ефект се получава при използване на вариант №1 с взимане на 100% кредит.

В стопанската практика е възможно да възникнат ситуации, при които кредитополучателите, взели под формата на кредит определена парична сума погасяват своето задължение предсрочно, т.е. преди настъпването на неговия падеж.

В тези случаи кредитополучателите имат право да получат известна отстъпка (отбив) от дължимата сума, поради обстоятелството, че престава да ползва заетата сума от деня на предсрочното ѝ изплащане (погасяване) до деня на падежа. Тази отстъпка се нарича дисконт или сконто.

Следователно под дисконт (сконто) се разбира отбивът (отстъпката), който се прави от дължимата сума, когато тя се изплаща преди настъпването на падежа.

Сконто винаги се определя в проценти и се нарича сконтов процент или сконтова такса.



Фиг.1. Срок на откупуване при всички предложени варианти.

Нормата на дисконтиране може да се определи още като лихвения процент, с който определена депозитарна институция е задължена да заема краткосрочен капитал директно от Федералния резерв.

Различни видове заеми от Федералния резерв са на разположение, и всеки съответстващ вид кредит има свой собствен дисконтов процент.

Нормата на дисконтиране е лихвен процент, използван в анализа на дисконтовите парични потоци, за определяне на настоящата стойност на бъдещите парични потоци. Дисконтовият процент отчита времевата стойност на парите т.е. идеята, че парите на разположение сега имат по-голяма стойност от същата сума пари в бъдеще, защото те носят лихва и риска или несигурността на очакваните бъдещи парични потоци (които могат да бъдат по-малко от очакваното).

Бизнесът трябва да разглежда нормата на дисконтиране, когато решава дали да използва печалбата си за закупуване на ново оборудване или да върне печалбата обратно на акционерите си.

В един идеален свят, те биха купили само малка част оборудване, ако акционерите ще получат по-голяма печалба по-късно. Размерът на допълнителната печалба, която изискват акционерите в бъдеще, за да предпочетат компанията да купи оборудване вместо да им се даде печалбата сега, е базирана на нормата на възвръщаемост на акционерите.

Има широко използван начин за изчисляване на нормата на дисконтиране на акционерите като се използват данни за цената на акциите. Той е известен като модел за ценообразуване на капиталовите активи.

Бизнесът обикновено прилага нормата на дисконтиране при вземане на решения относно закупуване на оборудване като изчисляват нетната настояща стойност на решението.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ситуацията за външната осветителна уредба на подстанциите в МЕР София град може да се промени драстично. Както се вижда повече от половината светлинни източници вече са забранени за употреба от Европейският съюз. Осветителните тела комплектувани с такива светлинни източници са голям енергиен консуматор и за съжаление в момента не покриват количествените и качествените показатели на съществуващата осветителната уредба.

От направеният технико-икономически анализ се вижда, че при подмяна на всички осветителни тела с нови светодиодни такива, инвестицията ще се изплати за пет години и половина. Това би облекчило енергийното потребление и би подобрило визията на подстанциите.

ЛИТЕРАТУРА

[1] БДС EN 12464-2:2007 Светлина и осветление. Осветление на работни места. Част 2 – Работни места на открито.

Автори: Ива Димитрова Драганова, асистент инж., катедра „Електроенергетика” (ЕЕ), Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail address: ivadraganova@tu-sofia.bg ; Валентин Генов Колев, доц. д-р инж., катедра „Електроенергетика” (ЕЕ); Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail address: vkolev@tu-sofia.bg ; Борислав Бойчев, гл. асистент инж., катедра „ЕСЕОЕТ”, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail address: bojchev@gmail.com

Постъпила на 15. 12. 2014 г.

Рецензент: проф. д-р инж. Ангел Пачаманов

УПРАВЛЕНИЕ НА УЛИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ ПРИ СЪВМЕСТНА РАБОТА НА КОНВЕНЦИОНАЛНИ И LED-ОСВЕТИТЕЛИ

Ангел Пачаманов, Петър Стоев, Константин Христов, Даниел Кайцанов

Резюме: Разглежда се съвместна работа на класическо улично осветление с натриеви лампи високо налягане (НЛВН) в централни улици на малки населени места и светодиодни осветители в периферните улици. За намаляване разходите за енергия и удължаване живота на светлинните източници при осветителите с НЛВН се прилага групово димиране, а при светодиодните - индивидуално. За последните рядко се практикува димиране, поради наложилото се мнение, че допълнителните средства за осъществяването му не се изплащат в приемлив срок с цената на спестената енергия. В статията са разгледани принципите и средствата, с които това се осъществява.

Ключови думи: димиране на натриеви лампи с високо налягане, интелигентни драйвери за захранване на светодиодно осветление

STREET LIGHTING MANAGEMENT IN THE COOPERATION OF CONVENTIONAL AND LEDs-LIGHTING

Angel Pachamanov, Peter Stoev, Konstantin Hristov, Daniel Kaytsanov

Abstract: Consider the collaboration of classic street lighting with high pressure sodium lamps (HPSL) in the central streets of small towns and LEDs lighting in suburban streets. To reduce energy costs and extend the life of the light source in luminaires with HPSL the block dimmer, while LEDs - individually. For the last dimming rarely practiced because of the boost of the opinion that additional funds for its implementation are not paid within a reasonable time at the cost of the energy saved. The article discussed the principles and means by which this is done.

Keywords: dimming sodium high pressure lamps, intelligent drivers for powering LEDs lighting

1. ПРОБЛЕМЪТ ...

Все още в повечето населени места уличното осветление е с натриеви лампи с високо налягане (НЛВН), наложили се с високия си светлинен добив и значителната продължителност на светене (табл.1). Напоследък и двата цитирани показателя са почти двукратно подобрени от светодиодите, но масовото им прилагане за главни улици и артерии е ограничено, поради проблеми с отвеждането на отделяната топлина при „мощните осветители” - прекомерното нагряване на светодиодите води до намаляване на светлинния добив и съкращаване на жи-

вота им. Това налага използването на скъпи алуминиеви корпуси-разсейватели на топлината, които ги оскъпяват.

Такъв проблем при светодиодните осветители с малка мощност не съществува, поради което те масово се използват в обслужващите улици - средна осветеност 2-3 lx за класове S6-S5 [1] се постига без специални оптични системи и с около 2-3 пъти по-малка инсталирана мощност от досегашната. Нормите за яркостта и осветеността на платното, използвани за улици в малки населени места са дадени в табл.2 и табл.3 [2].

Табл.1

Подобрени натриеви лампи с високо налягане (Филипс, Осрам, GE)

P, W	Φ, lm	κ, lm/W	t, h (за 10% изгорели лампи)	t, h (за 50% изгорели лампи)	LLMF след 16000 h
50	4200-4400	84-88	18000-22000	40000-70000	0,83-0,86
70	6400-6600	91-94	20000-28000	40000-70000	0,86-0,91
100	10000-10700	100-107	22500-30000	40000-70000	0,87-0,901
150	16500-17500	110-117	24000-30000	40000-70000	0,91-0,94

Табл.2

Нормирани показатели по БДС EN13201-2 за улици с моторизиран трафик

Клас	Яркост на повърхността на пътното платно при суха пътна повърхност			Смущаващо заслепяване	Осветление на обкръжението
	\bar{L}_m в cd/m ² [m -мин.експл.]	U_0 [минимална]	U_1 [минимална]	TI в % ^a [максимално]	SR ^{2b} [минимално]
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	Няма изискване

^a Нарастване от 5% на TI е позволено, когато са използвани светлинни източници с ниска яркост
^b Този критерий се прилага, когато няма съседен пътен участък със собствени изисквания

Табл. 3

Норми по БДС EN13201-2 за улици с бавно-движещи се превозни средства

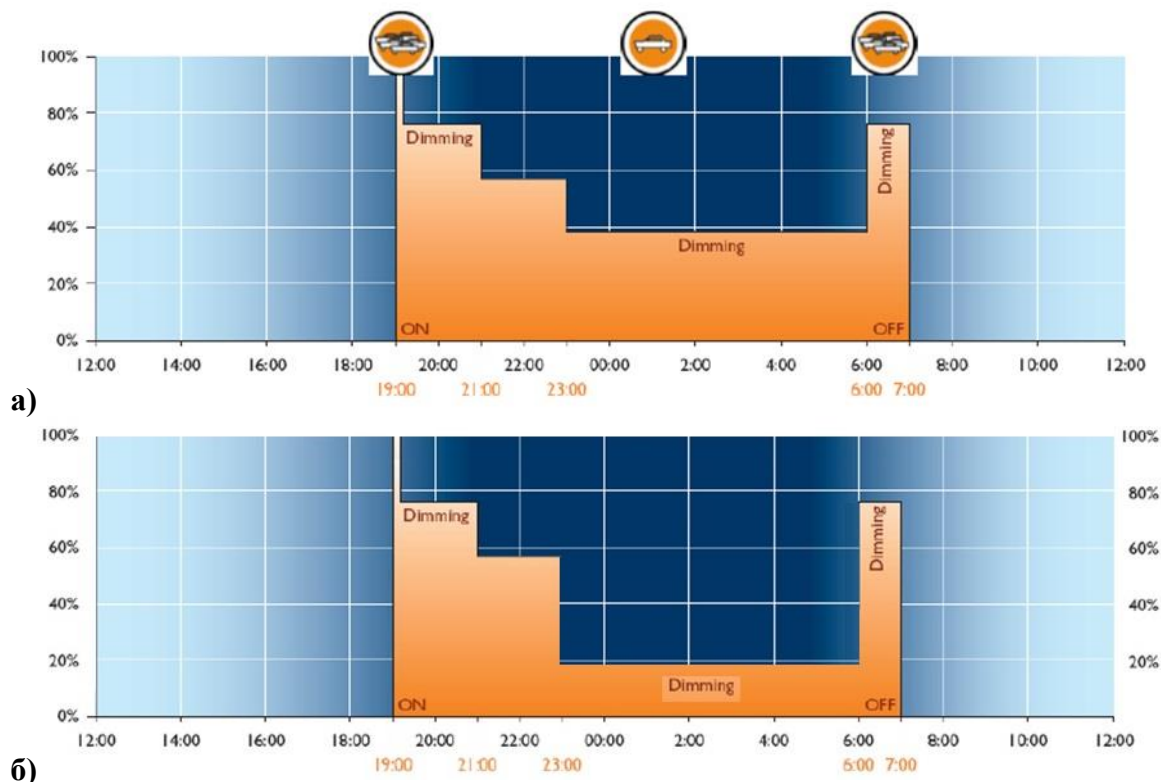
Клас	Хоризонтална осветеност	
	\bar{E}_m , lx ^a [m -мин.експл.средна осв.]	E_{min} , lx [поддържана]
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6
S7	няма изисквания	няма изисквания

^a За обезпечаване на равномерност, действителната стойност на средната осветеност \bar{E} не трябва да надвишава 1,5 пъти минималната стойност \bar{E}_m , определена за класа (напр., за S6 - $\bar{E}_{изч} \leq 3 lx$)

Обикновено за уредби с НЛВН се прилага групово димиране след 21 часа заради икономия на енергия и удължаване живота на лампите. Използват се автотрансформатори, които се монтират в уличните касети и обикновено „димира“ осветлението на няколко степени (фиг.1). В показания на фиг.1.а случай, димирането има значение не само заради преминаване на улицата към по-нисък светлотехнически клас с намаляване на движението [1, 2], но и заради експлоатационния фактор MF, с който се работи:

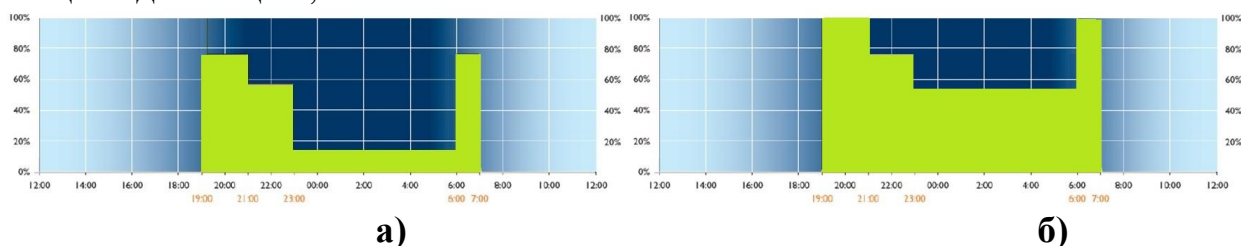
$$MF = LLMF * LSF * LMF, \quad (1)$$

където LLMF отчита намаляването на потока на светлинните източници в процеса на светене; LSF - отпадналите светлинни източници между две групови замени; LMF - намаляването на ефективността на осветителя вследствие замърсяване и запрашаване.



Фиг.1. Димиране на нови НЛВН: а) при улици от клас ME, минаващи след 21 ч. от клас ME5 към ME6, а след 23 ч. - от клас ME6 към S5; б) при улици с ограничено движение - от S4 към S5 към S6 (разгарянето е на 100%Pном).

Ако в средно замърсен район се използват осветители със степен на защита IP65, груповата смяна на НЛВН се извършва при поток 82% от номиналния (след около 20000 часа светене LLMF е 0,82 – табл.1) и намаляването на ефективността на осветителя за същото време е с 15% (LMF=0,85), то $MF = LLMF * LSF * LMF = 0,82 * 1 * 0,85 = 0,70$. Приема се LSF=1, тъй като обикновено се извършва индивидуална смяна на лампи. При така определения експлоатационен фактор създаваната яркост/осветеност върху платното при пускането на уредбата ще бъде $1/MF = 1,43$ пъти по-голяма от стойността, която се нормира. Ако не се приложи димиране на осветлението разходите за електроенергия ще бъдат също 1,43 пъти по-големи.



Фиг.2. Димиране на LED-осветители при преминаване на улицата към класове S4- S5-S6 за нови (а) и след достигане на 50% от ресурса им (б).

При светодиодни осветители за обслужващи улици димиране обикновено не се практикува. Счита се, че заради малката им мощност, използването на драйвери с възможност за димиране е неоправдано, тъй като не се изплащат в приемлив срок с цената на спестената енергия. Това води до преосветяване на улиците, докато светодиодите са нови.

При по-мощните осветители се използват драйвери, поддържащи постоянен поток - докато яркостта на платното е по-голяма от минимално изискваната, светодиодите се димират и реално уредбата работи с MF=1, тъй като през целия период платното не се преосветява.

2. КАК СЕ РЕШАВА ПРОБЛЕМЪТ ДОСЕГА ...

Когато е осигурено отделно захранване на главните и периферните улици, осветлението на последните обикновено се изключва след 23 часа. В селските райони това невинаги е възможно, тъй като уличното осветление се захранва от пети проводник на разпределителната мрежа ниско напрежение - от трафопоста излизат две или три линии, обхождащи улиците на населеното място. И тъй като не е възможно трасетата на линиите да са съобразят със светлотехническия клас на улиците, към една линия се присъединяват както осветители с НЛВН от улиците в центъра на селото, така и LED-осветители от периферни улици. Така изключването на осветлението не може да бъде само за обслужващите улици и често заради икономия на средства след 23 ч. цялото село остава без улично осветление.

3. КАКВО Е РЕШЕНИЕТО ...

За съществуващите в момента осветителни уредби с НЛВН групово димиране е изгодно при използване на автотрансформатори (АТ) с няколко извода (фиг.4). При 50000 часа планов живот на АТ (12,5 години), той се изплаща с цената на спестената енергия за срок под $\frac{1}{4}$ от живота си, а при новите изолационни материали, не се налага смяна до края на живота на уличната касета (20 години). Решението се е наложило заради надеждността си, независимо че има и много електронни групови димиращи устройства.

При светодиодните осветители също е възможно групово димиране по касети чрез драйвери за константен ток, но в градски райони, където изводите са по категории улици и се включват/изключват от сегментния контролер при различни стойности на естествената осветеност. За съжаление, в селските райони такова разделяне няма, затова реално осъществимо е само индивидуално димиране на осветителите.

Управлението по светлотехнически клас на осветителните уредби на повечето главни улици на малки населени места е както следва (фиг.1):

- след 21 часа улици с клас ME5 се приемат за ME6 илиа S5;
- след 23 ч. улици с клас ME6 се приемат за клас S5.

При обслужващите улици управление по същия времеви график е по-благоприятно от гледна икономия на енергия:

- след 21 часа улици с клас S5 (3 lx) преминават в S6 (2 lx), а улици с клас S6 - в клас S7, който няма специални изисквания за ниво на осветеност, а само за ориентиране и светлинно „водене” (табл.3);

- след 23 часа всички обслужващи улици минават в клас S7, като при него е достатъчно осветителите да работят на 15-20% от номиналния си поток (15-20% от 2 lx е 0,3-0,4 lx, което е около два пъти повече от осветеността, създавана при ясно небе и пълнолуние);

- при LED осветителите нивата на димиране съответстват на осветеността, която се изисква за класове S5-S6-S7 - 100/70/20%, което е благоприятно, тъй като цената за работа на осветлението след 23 часа е само 12% от цената през върховите часове (20%*0,15лв/0,25лв). Освен това, за разлика от димирането на НЛВН, при димирането на светодиодни осветители има линейна зависимост между мощност и светлинен поток (фиг.3), т.е. с по-малка електрическа мощ-

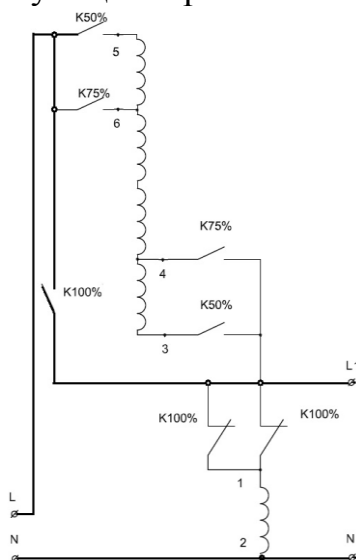
ност се получава повече светлинен поток.



Фиг.3. Ефективност при димиране на осветители с НЛВН и със светодиоди (LED).

4. КАК СЕ РЕАЛИЗИРА ...

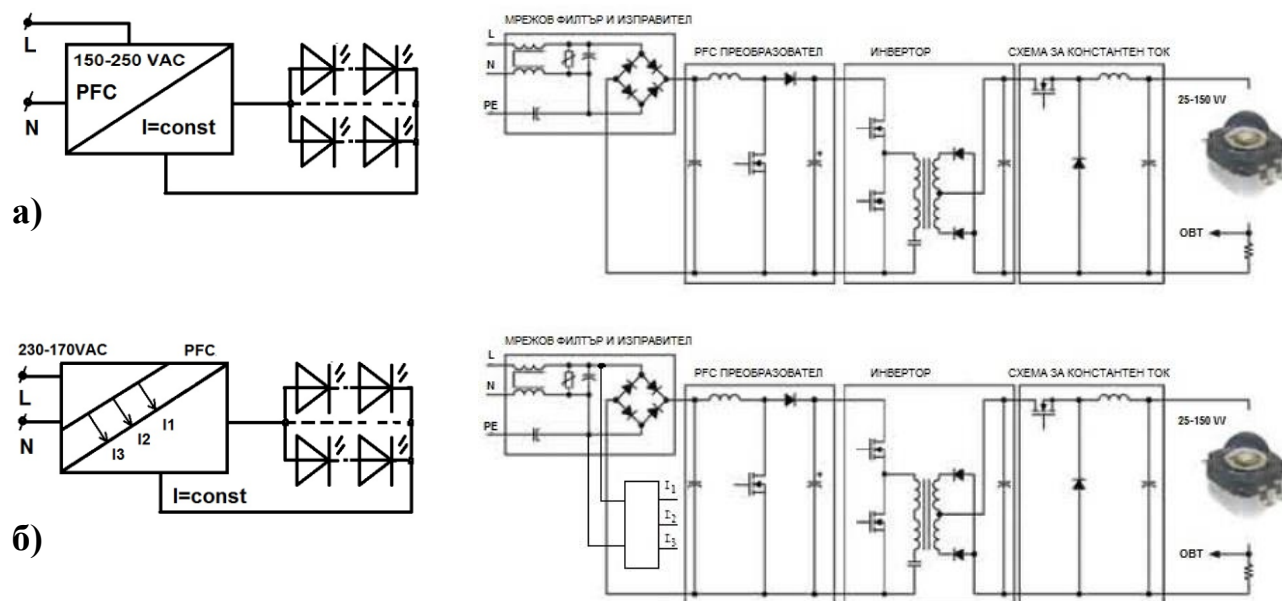
Управлението на режима на димиране на АТ е с интернет базиран сегментен контролер в уличната касета, който в зависимост от трафика (или часа) и състоянието на светлинните източници (часове работа на съответното ниво на димиране) превключва захранването на осветителите на такъв извод, който съответства на изискваната от класа на улицата яркост/осветеност (фиг.4).



Фиг.4. Димиращ автотрансформатор с байпас (K100% - разгарянето на лампите е винаги през него) и две степени на димиране – 75%Фном и 50%Фном.

Към един еднофазен автотрансформатор 4000 VA се включват до $4000/(80/0,9)=45$ осветителя с НЛВН 70W. По часовете работа на осветлението за различните нива на димиране текущо се изчислява остатъчният ресурс на лампите до групова подмяна (текуща стойност на LLMF) и така, макар и не толкова точно, както при системите с постоянен поток, осветителите реално работят с по-висока стойност на експлоатационния фактор MF.

Блоковите схеми на класически [4] и „интелигентен” драйвер на светодиоден осветител са показани на фиг.5. При класическия драйвер за константен ток (фиг.5а) схемата PFC и инверторът подържат през светодиодните модули такава стойност на тока, че да се осигури светлинен поток 100% при захранващо напрежение в широки граници - от 150 до 250 V. Това е предимство, ако захранващото напрежение се колебае в широки граници.



Фиг.5. Блокови схеми на класически [4] (а) и „интелигентен” (б) драйвер.

При „интелигентен” драйвер (фиг.5.б) е добавено звено, регистриращо захранващото напрежение и осигуряващо сигнал на схемата PFC и инвертора какъв ток във веригата на светодиодните модули да поддържат – за 100%Фн, за 70%Фн или за 20%Фн, съответно при регистрирано напрежение до 200V, между 200 и 180V и под 180V (предполага се, че на страна НН на трафопоста няма да се получава напрежение под 200V, т.е. под 10% от номиналната стойност).

5. КОЙ КАКВО ПЕЧЕЛИ ...

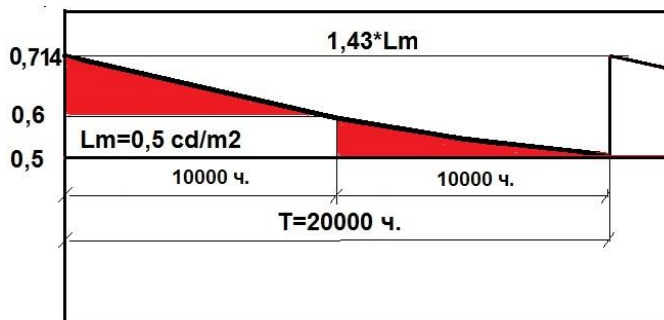
При така избрания алгоритъм на димиране печелят и трите страни:

- Производителят - много по-надежден осветител, защото в по-голямата част от времето той работи в облекчен режим (7 часа на 20%, 2 часа на 70% и само 3 часа на номинален режим);
- Експлоатацията - удължаване живота на светлинните източници и много по-голям период за групова смяна на светлинните източници;
- Общината - около два пъти по-малки сметки за електроенергия за осветление (виж т.б).

6. КАК РЕШЕНИЕТО СЕ ИЗПЛАЩА С ЦЕНАТА НА СПЕСТЕНАТА ЕНЕРГИЯ ...

6.1. Автотрансформатор за осветители с НЛВН

От фиг.3 се вижда, че при димирането на НЛВН зависимостта между подаваната мощност и получавания светлинен поток не е линейна. Това означава, че при димиране НЛВН по-неефективно «произвежда» светлинен поток, за разлика от светодиодите, при които е обратно. Независимо от това, димирането е изгодно, тъй като освен че се пести енергия в ненатоварените с трафик часове на денонощието (фиг.1), се предотвратява голямо преосветяване на улиците докато уредбата е нова (фиг.6).



Фиг.6. Преразход на енергия заради избрания експлоатационен фактор $MF=0,7$.

Нека приемем, че осветителите са с НЛВН 70W, на които при 20000 ч. работа (табл.1) се извършва групова подмяна, т.е. $LLMF=0,82$ (фиг.6). Осветителите са със степен на защита IP65, уредбата е в средно замърсен район ($LMF=0,85$) и е предвидена индивидуална смяна на изгорели лампи ($LSF=1$), при което $MF=LLMF*LSF*LMF=0,82*1*0,85=0,70$. Това означава, че за да осигурява уредбата поддържаната яркост $0,5$ cd/m² до 20000 часа, в началото тя трябва да осигури $0,5*1/MF=0,714$ cd/m². От експонентата, по-която намалява светлинния поток на лампата и се замърсява осветителят (фиг.6) може да се отчете, че половината от цикъла за подмяна на лампите се получава при около $0,6$ cd/m², т.е. 10000 часа (2,5 години) осветителите може да работят на степен на автотрансформатора $84\% \Phi_{ном}$, при което в края на първата половина от живота на лампите ще бъде реализирана яркост на пътното платно $0,84*0,6=0,504$ cd/m². От фиг.3 се отчита, че $84\% \Phi_{ном}$ се осъществява с около 92% от номиналната мощност. Реалната работна мощност на лампа 70W със загубите в ПРА (10W) за първите три часа на нощта ще бъде $80*0,92=74$ W и димирането спестява $80-74=6$ W за първите 2,5 години. Преминаване от клас ME5 към клас ME6 след 21 ч. означава, че следващите часове може да се работи на $60\% \Phi_{ном}$, тъй като $0,3/0,5=0,6$. Реално в първата половина от живота на лампите ще се работи на $0,6*0,6=0,36$ cd/m². От фиг.3 за мощността се отчита $0,75P_{ном}$, т.е. $80*0,75=60$ W и димирането на $0,6 \Phi_{ном}$ спестява $80-60=20$ W за първите 2,5 години (тъй като АТ няма друга степен през следващите 7 часа продължава работа на същия режим).

През цялата втора половина от живота на лампите (10000 часа) степента $84\% \Phi_{ном}$ ще се използва само при високо захранващо напрежение, а при номинално напрежение след 21 ч. ще се работи на $60\% \Phi_{ном}$ - при преминаване от

клас ME5 към клас ME6. За прегледност изчисленията са дадени в таблица 4 при следните изходни данни:

- дневна тарифа на електроенергията 0,25 лв/kWh
- нощна тарифа на електроенергията 0,15 лв/kWh
- димира се по нива (84/60/60%Φном) в първите 10000 часа
- димира се по нива (100/60/60%Φном) в следващите 10000 часа
- еднофазан АТ 4000 VA, заедно с монтажа струва 700 лв
- за опростяване на примера се отчита само платената енергия за 45 броя осветители за 20000 часа, след което се вземат годишни разходи.

Табл.4

Разходи за УОУ с 45 осветители 70W за един цикъл на смяна на лампите

График, ч.	лв/kWh	Φ, %	P, %	T, ч.	P _{осв} , kW	P _{редуцир} , kW	P _{45осв} , kW	лв	cd/m2
Първа половина от живота на лампите									
3	0,25	84	92	2500	0,080	0,074	3,312	2070	0,504
2	0,20	60	75	1667	0,080	0,060	2,700	900	0,36
7	0,15	60	75	5833	0,080	0,060	2,700	2363	0,36
				10000		C2'	за 2,5г.	5333	
Втора половина от живота на лампите									
3	0,25	100	100	2500	0,080	0,080	3,600	2250	0,5
2	0,20	60	75	1667	0,080	0,060	2,700	900	0,3
7	0,15	60	75	5833	0,080	0,060	2,700	2363	0,3
				10000		C2''	за 2,5г.	5513	
Цикъл за подмяна на лампите 20000 ч. (без димиране)									
3	0,25	100	100	5000	0,080	0,080	3,600	4500	0,5
2	0,20	100	100	3333	0,080	0,080	3,600	2400	0,5
7	0,15	100	100	11667	0,080	0,080	3,600	6300	0,5
				20000		C1	за 5 г.	13200	

Срокът за откупуване на допълнителните инвестиции за автотрансформатор и монтажа му в касетата ще бъде:

$$T=(K2-K1)/(C1-C2), \quad (2)$$

т.е. $T=(700-0)/(13200/5-(5333+5513)/5)=1,5$ години

6.2. «Интелигентни» драйвери за светодиодни осветители

Ако светодиодният осветител за обслужващи улици е 24 W, “интелигентният” драйвер оскъпява осветителя с около 15 лв, тъй като регистраторът на напрежение и схемата за промяна на режима на PFC и инвертора са част от съществуващата конструкция на драйвера.

При същите цени на енергията като по-горе, за условната 12-часова нощ разходите за енергия на година са:

$$365*0,024*(4*0,25+8*0,15)=19,27 \text{ лв.}$$

Ако се димира по нива (100/70/20%), то 3 часа се работи при цена на енергията 0,25 лв/kWh, 2 часа на цена $(0,15+0,25)/2=0,20$ лв/kWh и 7 часа на цена 0,15 лв/kWh. Тогава разходите за енергия на година са:

$$365*0,024*(1*3*0,25+0,7*2*0,20+0,2*7*0,15)=10,86 \text{ лв.}$$

Светлодиоден осветител 24 W без вторична оптика се продава на едро за около 120 лв/бр. с класически драйвер и за 135 лв – с „интелигентен”. Тогава за 1000 бр. осветители $K1=120000$ лв, а $K2=135000$ лв. Пренебрегват се разходите за смяна на светлинни източници (по-скъпият вариант има предимство, но това не се отчита заради простота на примера) и се оставя само разликата за платената енергия, т.е. за 1000 броя осветители $C1=19270$ лв/год.; съответно $C2=10860$ лв/год.

Срокът за откупуване на допълнителните инвестиции за интелигентни драйвери ще бъде:

$$T=(K2-K1)/(C1-C2)=(135000-120000)/(19270-10860)=1,78 \text{ години}$$

7. ИЗВОДИ

1. Независимо от предимствата на светлодиодното осветление, всички улични осветителни уредби в страната не могат веднага да преминат към него. Нужен е разумен преход, съобразен с изгодите за данъкоплатците – всяка реконструкция на улични осветителни уредби трябва да бъде съпроводена със сериозен анализ на база многовариантно проектиране. Ако допълнителните инвестиции за вариантите със светлодиодни осветители се изплащат от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ от живота на уредбите (обикновено 20-25 години), реконструкции на база банково кредитиране са изгодни, тъй като се намаляват разходите на общините за публично осветление.

2. В резултат на реално проучване на проекти за реновиране на улично осветление в малки населени места се установи, че при сегашните цени на електроенергията и на светлодиодните осветители у нас, цялостно преминаване към светлодиодно осветление е излишен лукс – при главните улици по-изгодни са варианти със запазване на част от осветителите с натриеви лампи високо налягане, при осигурена възможност за димиране – групово или индивидуално.

3. В случаите, когато не може да се приложи групово димиране, индивидуалното димиране на осветители с НЛВН на две или три нива чрез електронни баласта, самонастройващи се по продължителността на нощта, дава добри резултати, особено по отношение *равномерно износване на светлинните източници, вентилен ефект и по-малки загуби в ПРА*. Макар използването им да е на по-висока цена от груповото димиране, те се изплащат с цената на спестената енергия до половината от живота на уредбата [5].

4. При реконструкции на осветлението на обслужващи улици светлодиодните осветители са без конкуренция, още повече, че при тях повишаване на енергийната ефективност е възможно и чрез проектиране по мезопични нива на яркост/осветеност [7].

8. БЛАГОДАРНОСТ

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2014 г., научен проект в помощ на докторант „*Енергийноефективно електрозахранване на външно осветление*”, договор № 141ПД0009-01/03.04.2014.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] EN 13201-1:2004. Road lighting - Part 1: Selection of lighting classes
- [2] БДС EN 13201-2:2003. Улично осветление. Част 2: Технически изисквания
- [3] Technical Report Road lighting, Final Draft 13201-1,2,3,4,5, August 2013
- [4] International Rectifier, Peter B. Green – The Multi-Stage Off Line LED Driver, LED Professional Review 11-12/2010, p.52-54, www.led-professional.com
- [5] Христов К., Д. Кайцанов, А. Пачаманов. Драйвери за адаптивно димиране на светодиодни осветители. VI научна конференция ЕФ 2014, 15 - 17 септември, 2014 г. гр. Созопол
- [6] CIE 191:2010 “Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance”
- [7] Пачаманов А., К. Христов, Д. Павлов, Д. Кайцанов. Мезопични нива на осветеност и възможности за повишаване на енергийната ефективност на осветлението на малки населени места. VI научна конференция ЕФ 2014, 15 - 17 септември, 2014 г. гр. Созопол

Автори: Ангел Саракинов Пачаманов, професор д-р инж., катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (ЕСЕОЕТ), Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: pach@tu-sofia.bg, р-л НИИКЛ “Осветителна техника” (www.onilot.com); Петър Стоев - маг. инж., докторант в катедра ЕСЕОЕТ, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София; Константин Христов - маг. инж. Докторант, катедра ЕСЕОЕТ, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София; Даниел Кайцанов - маг. инж., техн. директор във фирма за производство на светодиодни осветители.

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Захари Иванов

МОДЕРНИЗАЦИЯ НА ОСВЕТИТЕЛНА УРЕДБА В УЧЕБНА СГРАДА С LED ОСВЕТИТЕЛИ

Милко Йовчев, Пламен Цанков

Резюме: В настоящата разработка се представят резултати от проект за модернизация на осветителна уредба в учебна сграда в ТУ-Габрово с LED осветители. Извършено е обследване на съществуващото осветление в сградата, 3D моделиране на отделните помещения с отчитане на естественото осветление и вариантни светлотехнически изчисления с нови LED осветители. Приложени са резултати от изчисляване и оценка на енергийната ефективност на съществуващото и новото LED осветление, съгласно изискванията на стандарт БДС EN 15193:2009. Направена е технико-икономическа оценка на предлаганата модернизация на осветлението в сградата с LED осветители.

Ключови думи: LED, енергийно обследване, естествено осветление, енергийна ефективност, 3D моделиране, модернизация, енергийна оценка.

MODERNIZATION OF LIGHTING SYSTEM IN EDUCATION BUILDING WITH LED LUMINAIRES

Milko Yovchev, Plamen Tsankov

Abstract: This paper presents some results of project for modernization of the lighting system in the academic building at the Technical University of Gabrovo with LED luminaires. Energy audit of existing lighting in the building, 3D modeling of individual rooms and variant lighting calculations including natural lighting with new LED lighting are carried out. Results from calculating and assessing the energy efficiency of existing and new LED lighting, according to Standard EN 15193:2009 are given. A technical and economic evaluation of the proposed modernization of the lighting in the building with LED luminaires are shown.

Keywords: LED, energy audit, daylighting, energy efficiency, 3D modeling, modernization, energy assessment.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

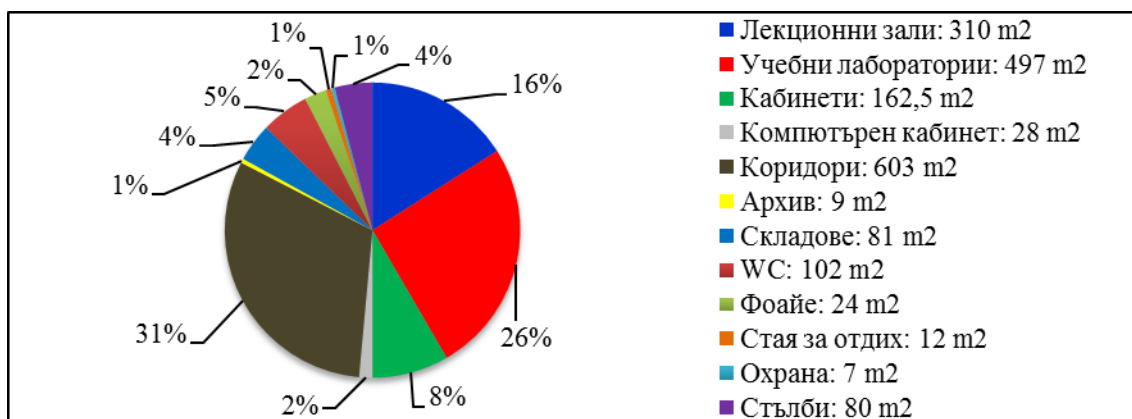
Средствата за консумираната електрическа енергия в учебни сгради са значителен дял от енергийните разходи, като преобладаващата част от тях са за осветление. Реконструкцията и модернизацията на осветителните уредби са предпоставка за подобряване на качеството на осветление в съответствие с изискванията на нормативните документи за вътрешно осветление и повишаване на енер-

гийната ефективност, което осигурява намаляване на преките енергийни разходи на учебните сгради [1, 2]. Извършено е електроенергийното обследване и модернизация на осветлението в учебен корпус №2 „Баждар“ на ТУ-Габрово, което включва следните етапи:

- проучване на съществуващото състояние на осветителната уредба – брой осветителни тела, тип и мощност на светлинните източници;
- триизмерно компютърно моделиране на помещенията в обекта с необходимите елементи и отчитане на естественото осветление;
- вариантни светлотехнически изчисления на ново светодиодно (LED) осветление, съгласно изискванията на БДС EN 12464-1:2011;
- изчисляване и оценка на енергийната ефективност на съществуващото и новите варианти за LED осветление, според изискванията на БДС EN 15193:2009;
- резултати от модернизацията на осветителна уредба в учебна сграда с LED осветители.

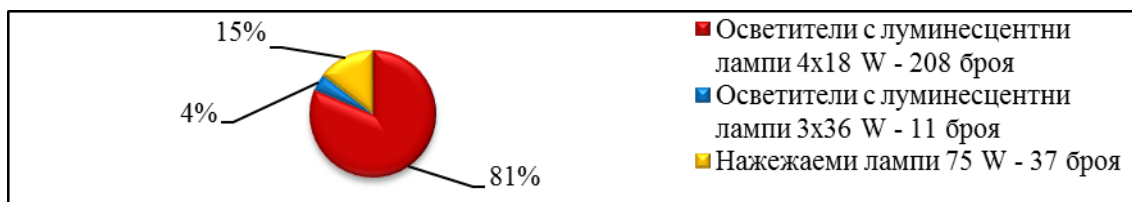
2. ПРОУЧВАНЕ НА СЪЩЕСТВУВАЩОТО СЪСТОЯНИЕ НА ОСВЕТИТЕЛНАТА УРЕДБА

Учебният корпус е съставен от три етажа. С ултразвукова лазерна ролетка се заснемат геометричните размери на всички помещения и се класифицират според функционалното им предназначение. Сградата съдържа общо 55 помещения, от които най-голям териториален дял заемат лекционните зали, лабораториите, кабинети и коридори – фиг.1. Общата площ на сградата е 1939 m².



Фиг.1. Разпределение на помещенията по площ.

Извършва се обследване на съществуващото състояние на осветителната уредба, което включва проучване на броя на осветителните тела, типа и мощността на светлинните източници в тях за всяко помещение. Преобладаващите осветители са с луминесцентни лампи тип „Т8“, захранвани с индуктивен баласт [1]. На фиг.2 е показано разпределение на видовете осветители по тип и мощност на лампите.



Фиг.2. Разпределение на осветителите по вид и мощност.

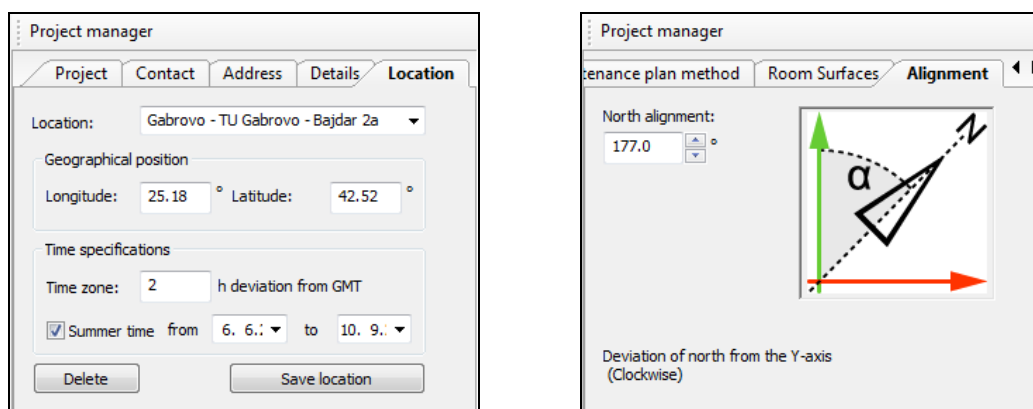
В табл.1 са представени обобщени резултати от енергийното обследване на съществуващата осветителна уредба в учебния корпус.

Таблица 1

Общ брой осветителни тела	Брой на светлинните източници	Брой светещи лампи	Инсталирана мощност със загуби в ПРА, W
256	902	869	22 240

3. ТРИИЗМЕРНО КОМПЮТЪРНО МОДЕЛИРАНЕ НА ПОМЕЩЕНИЯТА С НЕОБХОДИМИТЕ ЕЛЕМЕНТИ И ОТЧИТАНЕ НА ЕСТЕСТВЕННОТО ОСВЕТЛЕНИЕ

За отчитане на естественото осветление в отделните помещения се извършва заснемане на географските координати и ориентацията на учебната сграда спрямо север. Получените стойности за географската дължина и широчина се въвеждат в светлотехнически софтуерен продукт DIALux – фиг.3 [5].



Фиг.3. Въвеждане на географските параметри на обекта в DIALux.

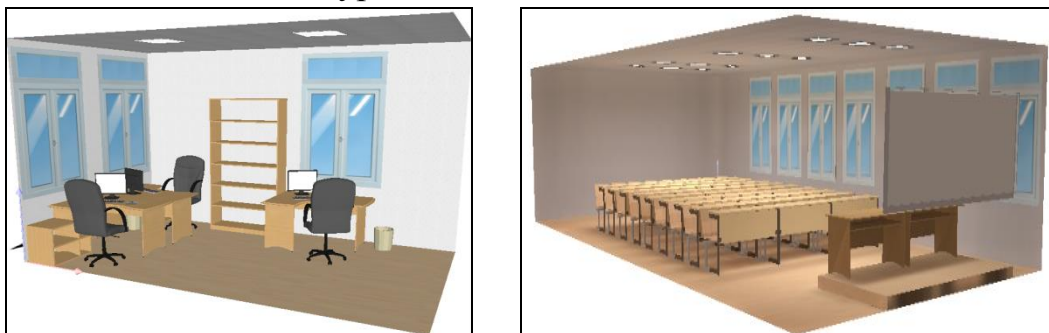


Фиг.4. Текстури от снимки на елементи на обзавеждането.

Триизмерното компютърно моделиране се състои в детайлно позициониране на прозорците с техните размери и всички останали елементи на обзавеждането. За

коректно отчитане на отражателните характеристики на предметите и по-реалистична визуализацията, са използвани текстури от снимки на съответните обекти в помещенията – фиг.4.

На фиг.5 е показано триизмерно компютърно моделиране на помещения след приложените обекти и текстури.



Фиг.5. 3D моделиране на кабинет и учебна лаборатория.

4. ВАРИАНТНИ СВЕЛЛОТЕХНИЧЕСКИ ИЗЧИСЛЕНИЯ НА НОВО СВЕЛЛОДИОДНО ОСВЕЛЛЕНИЕ

За симулиране на реализираните светлотехнически показатели (средна осветеност - E_{av} , равномерност на осветеността - U_o и яркостен дискомфорт - UGR) от съществуващото осветление в учебния корпус, се използват конвенционални осветители с луминесцентни лампи тип „Т8“ с мощност 4x18 W, които се захранват с индуктивен баласт. За повишаване на ефективността чрез новото модернизирано осветление, е избран най-съвременния светлинен източник – светлодиода. Използвани са 5 модела на 3 фирми производители, чиито технически характеристики са показани в табл.2, като размерите на новопредложените LED осветители е идентичен с тези на съществуващите [6, 7].

Таблица 2

Производител	PHILIPS		Solar LED Power		UltraLux
	Модел	CR444B	SM12V	LP6060-144	
Номинална мощност, W	44	42	39,2	28	5,5
Светлинен поток, lm	5050	3600	3900	3700	500
Светлинен добив, lm/W	87,6	88	130	130	91
Цветна температура, K	4000	4000	4000	4000	2700
Индекс на цвето предаване	> 80	> 80	> 80	> 80	> 80
Срок на експлоатация, h	50 000	50 000	50 000	50 000	30 000

Съгласно БДС EN 12464-1:2011 посредством DIALux се извършват вариантни светлотехнически изчисления за съществуващото и новото LED осветление за всички помещения [3, 5]. Светлотехническите показатели се изчисляват за работни пространства, чиито местоположение и размери са предварително определени. В табл.3 за лекционна зала са показани получени резултати на реализи-

раните светлотехнически показатели за отделните работни зони, сравнени с нормените, както и инсталираната мощност с отчитане на загубите в пусковата регулираща апаратура (ПРА).

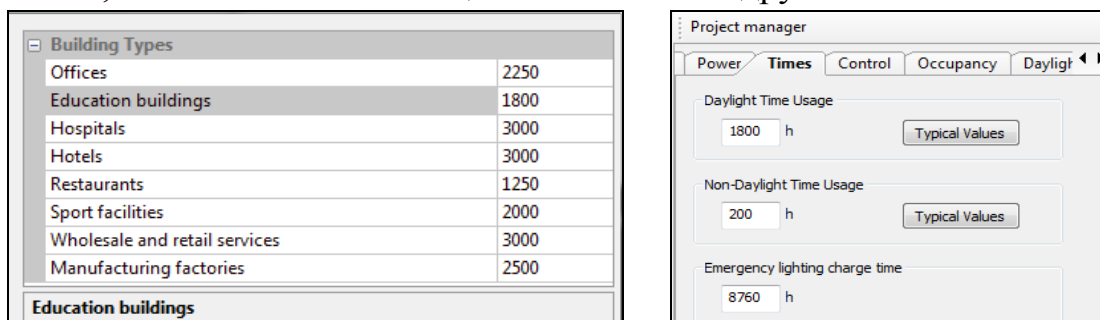
Таблица 3

лекционна зала с площ 106 m ²							
светло-технически показатели	нормени стойности по БДС EN 12464-1 2011	реализирани стойности					
		Съществуваща ОУ		ново енергийно-ефективно LED осветление			
		ЛЛ 4x18W- тип „Т8“		PHILIPS - 44W		Solar LED Power- 28W	
		работни зони					
		1	2	1	2	1	2
средна осветеност	$\bar{E}_m = 500$ lx	633	556	630	548	601	509
равномерност на осветеността	$U_o = 0,6$	0,46	0,51	0,47	0,52	0,51	0,55
UGR	$UGR_L = 19$	14		19		21	
инсталирана мощност със загубите в ПРА, W		1056		504		336	

5. ИЗЧИСЛЯВАНЕ И ОЦЕНКА НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА СЪЩЕСТВУВАЩОТО И МОДЕРНИЗИРАНО LED ОСВЕТЛЕНИЕ

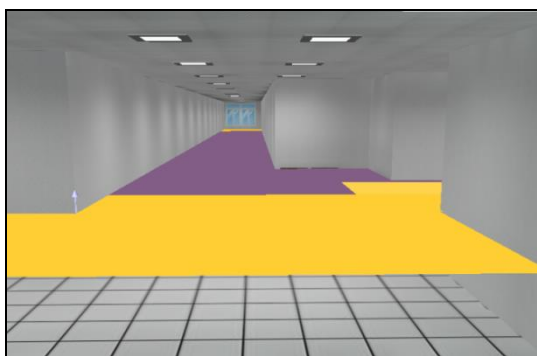
Енергийната оценка на вътрешното осветление се извършва по утвърдена европейска методика EN 15193:2009 [4]. Необходимо е коректно да се определи продължителността на използване на изкуственото осветление през светлата и тъмна час от денонощието с отчитане на естественото осветление. Първоначално се избира типа на сградата, след което се извършват необходимите настройки в софтуерния продукт DIALux. Според БДС EN 15193:2009 годишното използване на осветление на сгради за образование е 1800 часа през светлата и 200 часа през тъмната част от денонощието – фиг.6 [4, 5].

В зависимост функционалното предназначение на всяко помещение в сградата, ориентацията му спрямо север и площта на прозорците, се определя коефициентът на зависимост от присъствие на хора и количеството на постъпващата дневна светлина, която за някои помещения е повече от други.



Фиг. 6. Избор на продължителност на използване на осветлението.

На фиг.7 е показано визуализиране на зоните за оценка на количеството постъпваща дневна светлина (жълта площ) и зони без естествена светлина (виолетова площ) за различни помещения.



а) Коридор



б) Лаборатория

Фиг.7. Визуализиране на зоните за оценка на количеството постъпваща дневна светлина и зони без естествена светлина за различни помещения.

Детайлното компютърно моделиране на естественото осветление и режима на използване на изкуственото осветление в помещенията позволява да се установи реалната годишна часова използваемост на осветителните уредби. В табл.4 е показана моделирана часова използваемост на изкуственото осветление за различни по функционално предназначение помещения.

Таблица 4

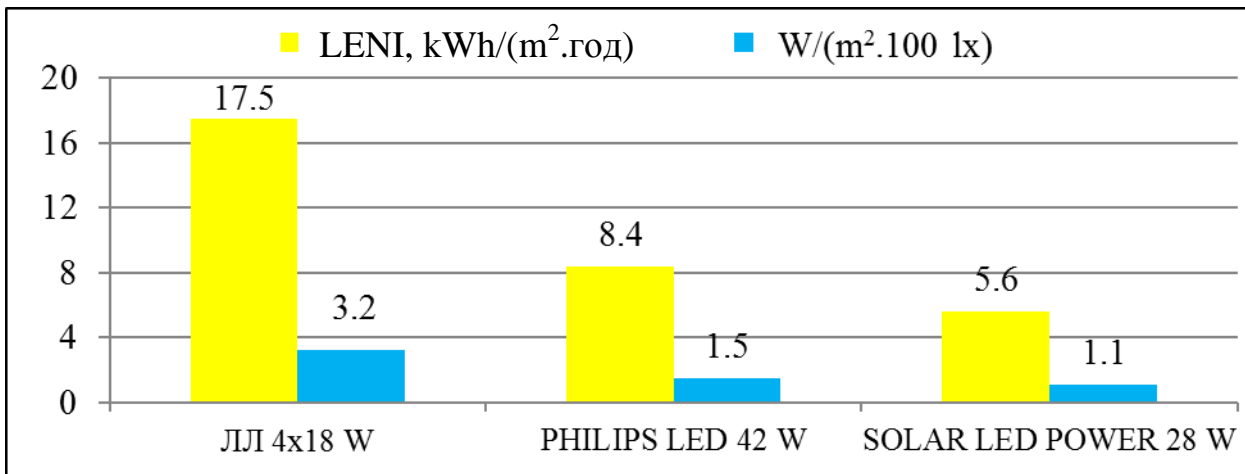
	Вид помещение			
	Лекционна зала	Лаборатория	Кабинет	Коридор
Моделирана часова използваемост на осветлението	1 757	1 466	1 072	579

За всяко помещение се изчислява консумираната електрическа енергия за осветление по месеци за съществуващата и модернизирана в два варианта с LED осветителна уредба. В табл.5 са показани стойностите за едно помещение.

Таблица 5

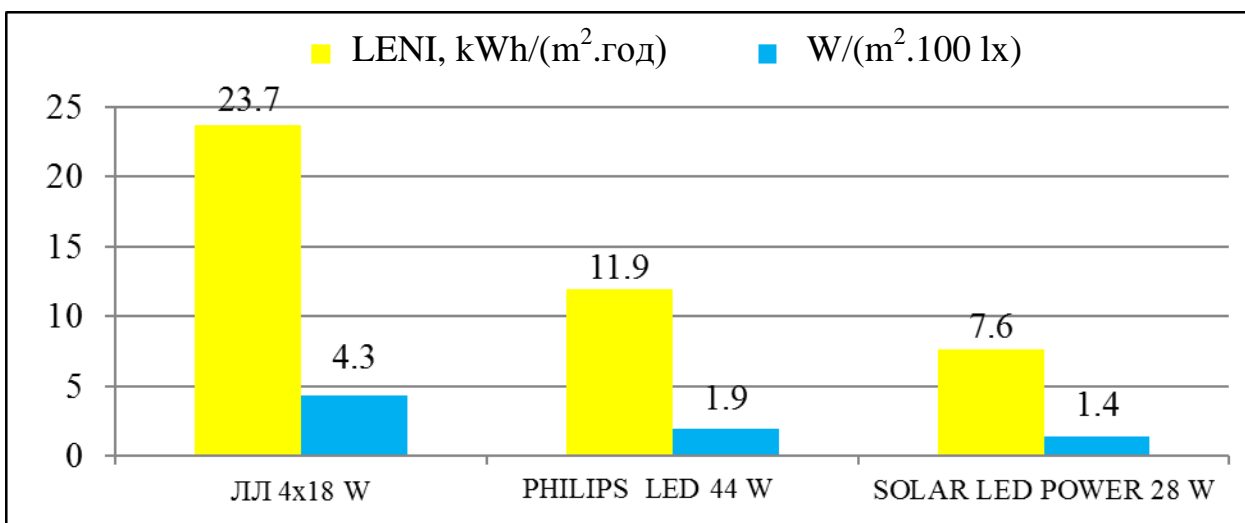
Месец	Консумирана електрическа енергия за осветление по месеци в kWh за лекционна зала с площ 106 m ²		
	Съществуваща ОУ с ЛЛ 4x18W– тип „Т8“	Ново енергийно-ефективно LED осветление	
		PHILIPS: SM120V-42W	Solar LED Power: LP-6060-100- 28W
Януари	170,58	81,41	54,27
Февруари	160,85	76,77	51,18
Март	150,33	71,76	47,84
Април	146,44	69,89	46,60
Май	144,89	69,14	46,11
Юни	144,10	68,77	45,86
Юли	144,49	68,97	45,98
Август	144,89	69,14	46,11
Септември	150,33	71,76	47,84
Октомври	156,96	74,90	49,94
Ноември	167,86	80,11	53,40
Декември	173,70	82,90	55,26
Общо за година	1 855,42	885,52	590,39

Извършва се изчисляване със специализирания софтуер DIALux на два показателя за оценка на енергийната ефективност на осветлението за съществуващото състояние и с предложените LED модели за отделните помещения. Това са цифровият показател за годишна консумация на електрическа енергия за осветление – LENI, и показателят за енергийна ефективност на вътрешни осветителни уреди – „W/(m².100 lx)“. На фиг.8 и фиг. 9 са показани изчислени стойности на тези показатели за различни по вид помещения.



Фиг.8. Оценка за енергийна ефективност на съществуващите и предложени нови с LED осветители в лекционна зала.

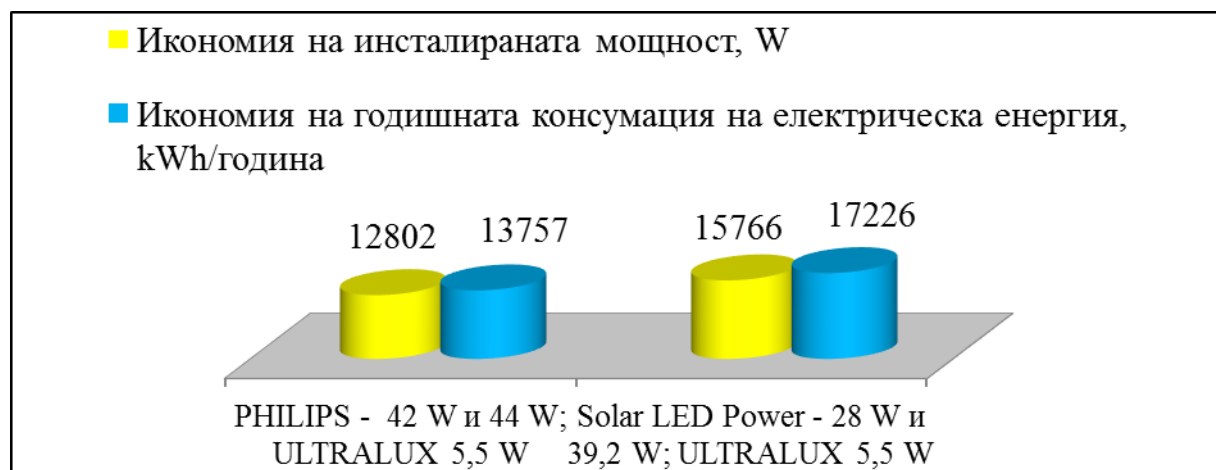
В резултат от извършеното електроенергийно обследване на съществуващото осветление, вариантите светлотехнически изчисления и оценка на енергийната ефективност на съществуващото и новото предложено LED осветление, се получават обобщени електроенергийни показатели. В табл.6 са показани обобщени стойности на инсталираната мощност и на консумацията на електрическа енергия за осветление за учебния корпус.



Фиг.9. Оценка за енергийна ефективност на съществуващите и предложени нови с LED осветители в учебна лаборатория.

Таблица 6

Електрически параметри	Съществуваща ОУ	Предложена нова ОУ с LED осветители	
	ЛЛ 4x18 W – тип Т8 и НЛ 75 W	PHILIPS – 42 W; 44 W и UltraLux - 5,5 W	Solar LED Power 28 W; 39,2 W и UltraLux - 5,5 W
Инсталирана мощност със загуби в ПРА, W	22 242	9 440	6 476
Годишна консумация на електрическа енергия, kWh/г	24 021	10 264	6 795



Фиг.10. Реализирано намаление на електроенергийни показатели.

Постига се значително намаление на инсталираната мощност и на годишната консумация на електрическа енергия при новото LED осветление. На фиг.10 е показана реализираната икономия на инсталирана мощност и консумация на електроенергия при новопредложеното LED осветление.

Направена е технико-икономическа оценка на модернизацията с LED осветители на българските фирми Солар Лед Пауър и UltraLux в учебния корпус.

Технико-икономическите изчисления са извършени със специализирания софтуерен продукт „ENSI – икономически изчисления“ – фиг.11, препоръчван от Агенцията за устойчиво енергийно развитие за икономическа оценка на мерки за енергийна ефективност при саниране на сгради. Общата инвестиция възлиза на 28 953 лв. При годишна икономия на електроенергия за осветление от 17 226 kWh и цена на електрическата енергия 0,214 лв/kWh, за една година се спестяват 3 690 лв. Икономическият живот е 17 години. Срокът на откупуване на инвестицията е 7,9 години, а срокът на изплащане с отчитане на влиянието на инфлацията е 11,6 години, който е по-малък от експлоатационния живот на LED осветителите – $(30\ 000\ \text{ч.}) / (1757\ \text{ч./г.}) = 17$ години в случая за най-използваемите лекционни зали в сградата. Получава сравнително дълъг срок на изплащане на инвестицията, което се дължи на ниската годишна часова използваемост на осветителната уредба в учебната сграда и доброто оползотворяване на отчетеното при изчисленията естествено осветление в помещенията.

Енергийни изчисления	
Име на проекта:	Модернизация осветление на кор
Мярка:	LED на осветление в корпус 2а ТУ-Габрово
Общо инвестиции:	28.953 лв
Енерг. източник 1:	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3
Икономии kWh/година:	17.226kWh/година * 0,214 лв/kWh = 3.690 лв
Икономии kW	0 kW * = 0 лв
Енерг. източник 2:	<input checked="" type="radio"/> Не <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3
Икономии kWh/година:	0kWh/година * = 0 лв
Икономии kW	0 kW * = 0 лв
Общо икономии	3.690 лв
Годишна Е&П	0 лв
Нето икономии:	3.690 лв
Икономически живот:	17 Години
Макс. срок изплащане	10 Години (За изчисление на макс. инвестиция)
Реален лихвен %:	6,80%
Рентабилност	
Срок на откупуване:	7,9
Срок на изплащане:	11,6
Вътр. норма на възвръщаемост:	10,4 %
Нетна сегашна стойност:	7.588
Коеф. на нетна сегашна стойност:	0,26
Максимална инвестиция	26.152
<input type="checkbox"/>	Мярка за реконструкция
<input type="checkbox"/>	Нерентабилна мярка
<input type="checkbox"/>	Мерки по вътрешния микроклимат

Фиг.11. Техничко-икономическа оценка на модернизацията с LED осветители на осветителната уредба в учебната сграда.

6. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ МОДЕРНИЗАЦИЯТА НА ОСВЕТИТЕЛНА УРЕДБА В УЧЕБНА СГРАДА С LED ОСВЕТИТЕЛИ

Инсталираната мощност и консумацията на електрическа енергия за осветление на годишна база намаляват 3 пъти с по-ефективния вариант със светлодиодни осветители.

Стойностите на показателя $LENI = 5 \div 10 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{год})$ за предложените проектни решения с LED показват значително по-голяма енергийна ефективност от препоръчаната, според БДС EN 15193:2009.

Стойностите на показателя за енергийна ефективност на вътрешни осветителни уредби $W/(\text{m}^2 \cdot 100 \text{ lx})$ са в интервала $(1,1 \div 1,9)$ за предложените варианти с LED осветители и са в съответствие с добрите европейски практики в учебни сгради – $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot 100 \text{ lx})$.

Техничко-икономическите показатели (Фигура 11) потвърждават икономическата рентабилност на предлаганото техническо решение за модернизация.

Анализът на резултатите от модернизацията на осветителната уредба в учебна сграда с LED осветители потвърждава постигнатата електроенергийна ефективност и икономическа рентабилност на проектното инженерно решение.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Платиканов, С., П. Цанков, Д. Маркова, П. Цвятков, М. Йовчев, Е. Станев. *Енергийно обследване на осветлението в учебни корпуси на Технически университет – Габрово*, Международна научна конференция UNITECH'12, Габрово, 16-17.11.2012, стр. 125-130.
- [2] Пачаманов, А., Н. Янева, К. Христов, К. Чолакова, П. Иванова, Д. Петков. *Естествена осветеност в помещения с различно изложение и разход на електроенергия за изкуствено осветление*, XII Национална конференция по осветление LIGHT'2004, Варна, 15-17.06.2004, стр. 206-209.
- [3] БДС EN 12464-1:2011 – *Светлина и осветление. Осветление на работни места. Част 1. Работни места на закрито*.
- [4] БДС EN 15193:2009 – *Енергийни характеристики на сгради. Енергийни изисквания за осветление*.
- [5] DIALux - *The Software Standard for Calculating Lighting Layouts*.
- [6] www.philips.bg.
- [7] www.ledpower.bg.

Автори: Милко Тодоров Йовчев, ас. инж., лаборатория „Осветителна и инсталационна техника“, катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане“, Технически университет - Габрово, E-mail adress: milkoyovchev1986@gmail.com; Пламен Ценков Цанков, гл. ас. д-р инж., лаборатория „Осветителна и инсталационна техника“, катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане“, Технически университет - Габрово, E-mail adress: plamen@tugab.bg.

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Вълчан Георгиев

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФОТОБИОЛОГИЧНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ОТ РАЗЛИЧНИ СВЕТЛОДИОДНИ ИЗТОЧНИЦИ

Камелия Николова, Николина Янева, Петя Джановска

Резюме: В доклада са представени резултати от експериментално изследване и оценка на фотобиологичното въздействие на светлодиодни източници на светлина с различни геометрични размери, различна спектрална интензивност на лъчението, конструкция и приложение. Оценяването на получените резултати е извършено по отношение на фотобиологичния риск от синя светлина. Анализирани са резултатите и са дадени насоки за последващи експерименти.

Ключови думи: фотобиологичен риск от синя светлина, светлодиодни светлинни източници.

EVALUATION OF PHOTOBIOLOGICAL EFFECT OF DIFFERENT LED SOURCES

Kamelia Nikolova, Nikolina Yaneva, Petya Djanovska

Abstract: The present paper represents results derived from experimental research of LED sources with different sizes, spectral intensities of radiation, constructions and application are experimentally measured and evaluation of their photobiological effect. The evaluation of the results is based on "Blue light hazard". The results are analyzed and some directions for further experiments are given.

Keywords: blue light hazard, LED sources

1. ВЪВЕДЕНИЕ

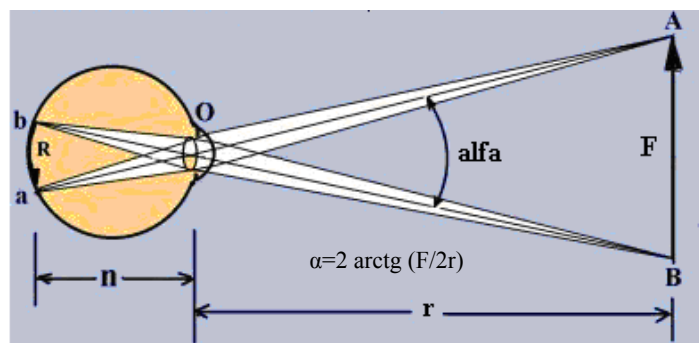
Съгласно действащия стандарт БДС EN 62471:2008 "Фотобиологична безопасност на лампи и системи от лампи" за оценяване на един източник на оптично лъчение, излъчващ в широк спектрален диапазон, е необходимо да се определят спектралното разпределение на оптичното лъчение в точки, които са пряко свързани с човешко присъствие, размера на проектирания образ на светлинния източник за спектралния диапазон, в който са възможни увреждания на ретината на окото и промяната на лъчението в конкретни геометрии на уредбите с промяната на разстоянието до източника [1].

Условията, при които се извършва радиометрично заснемане на спектралното разпределение на интензивността на лъчението от източниците на оптично лъчение се определят от областта на приложение, ъгловият размер на изследва-

ните източници (α_{eff}) или геометрията на уредбата в конкретната област на приложение и времето за излагане на лъчение от изследваните източници (t).

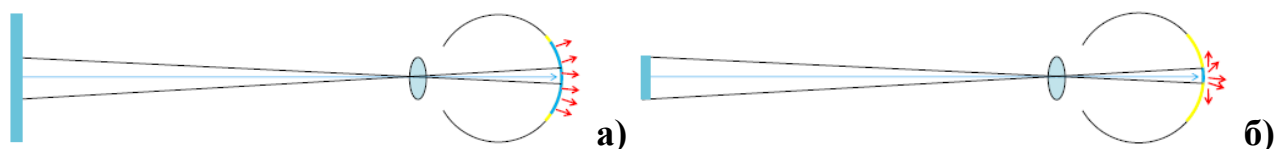
Оценката на фотобиологичното въздействие, съответстващите ефективни величини, техните гранични стойности и рискови групи за изследваните изделия, съгласно [1], се определят по различен начин в зависимост от техните ъгови размери.

Ъгловият размер α_{eff} в rad се определя от проекцията на габаритния размер на видимата част от източника на лъчение върху окото на наблюдател или в точката на измерване. Този размер се отнася за пълния ъгъл, а не за половината от него, фиг.1.



Фиг.1. Определяне на ъгов размер на източник на оптично лъчение.

За "голям" източник се счита източник, чиято проекция върху ретината е толкова голяма, че биологичното въздействие в радиална посока от центъра на образа по посока на заобикалящата биологична тъкан е незначително в сравнение с биологичното въздействие в направлението на централната ос (фиг.2.а). В този случай има значение каква е лъчистата светимост на източника и неговата лъчиста яркост L_e , $(W_e/sr)/m^2$.



Фиг.2. Проекция върху ретината на човешкото око и биологично въздействие: а) при "голям" източник и б) при "малък" източник.

За "малък" източник се счита източник, чиито ъгов размер е по-малък от 0,011 rad, фиг.2.б). Тъй като при ъгов размер $\alpha_{eff}=0,011$ яркостта е приблизително 10^4 пъти по-малка от облъчеността е по-подходящо да се дефинират гранични стойности за облъчеността E_e , W_e /m^2 .

За определяне на ъговете размери на източника и геометрията на експериментално заснемане на интензивността на оптичното лъчение са необходими размерите на източника, разстоянието до облъчената повърхност и зрителното поле на наблюдателя.

Зрителното поле се дефинира като пространствен ъгъл γ в sr, под който се възприема лъчението от детектора на измервателния уред, като радиометър или

спектрорадиометър. При кръгосиметричен пространствен ъгъл е удобно да се използва равнинен ъгъл γ в rad.

Възниква и следния въпрос – при различни геометрии един и същи източник би могъл да се разглежда, както като „голям“, така и като „малък“. Как тогава да направим коректна оценка?

Едновременно с това БДС EN 62471:2008 определя две стандартни условия за измерване:

1 - Определяне на облъчеността и яркостта на разстояние, при което светлинния източник осигурява осветеност 500 lx, но не по-малко от 200 mm - за източници, предназначени за общо осветление;

2 – Определяне на облъчеността и яркостта на разстояние 200mm при гарантиране на съответното зрително поле - за всички останали случаи (включително и липса на дефинирана област на приложение).

Тези условия, обаче са свързани с някои особености при изследвания за различни области на приложение и създават възможност за различни интерпретации на опитната постановка, което би изкривило резултатите от измерването.

В тази връзка полезни насоки и разяснения относно приложението на БДС EN 62471:2008 за оценка на риска от синя светлина на светлинни източници и осветителни тела са налични в IEC/TR 62778: 2012 [2]. Съгласно посочените в [2] препоръки, измерванията за всички източници е подходящо да се правят на разстояние 200 mm и зрително поле 0,011 rad като се определят условията, при които източника преминава от рисковата група 1 в рисковата група 2.

В тази връзка интерес представлява изследване на различни светлинни източници за общо осветление при изпълнение на стандартните условия за определяне на облъченост и яркост при осветеност 500 lx и на разстояние 200 mm и зрително поле 0,011 rad . Получените резултати за рисковата група на изделията биха ли се променили за източници на светлина с различна спектрална интензивност на лъчението в зависимост от избраната опитна постановка?

2. РАДИОМЕТРИЧНО ЗАСНЕМАНЕ НА СПЕКТРАЛНОТО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА ИНТЕНЗИВНОСТТА НА ЛЪЧЕНИЕТО НА РАЗЛИЧНИ СВЕТОДИОДНИ ИЗДЕЛИЯ И ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ФОТОБИОЛОГИЧНИЯ РИСК ОТ НАЛИЧИЕ НА СИНЯ СВЕТЛИНА

Измерването е направено със спектрорадиометър Stellar BLACK-Comet, с обхват, позволяващ заснемане на интензивност на лъчения с дължина на вълната от 200 nm до 1100nm. Испитаните образци са "ретрофит" светодиодни източници с диаметър на колбата $\varnothing 47\text{mm}$ и $\varnothing 56\text{mm}$, светодиодни осветители тип „луна“ за вграждане, линейни светодиодни осветители за висящ монтаж.

Измерването е направено съгласно стандарт БДС EN 62471:2008 и препоръките на работен документ IEC/TR 62778:2012.

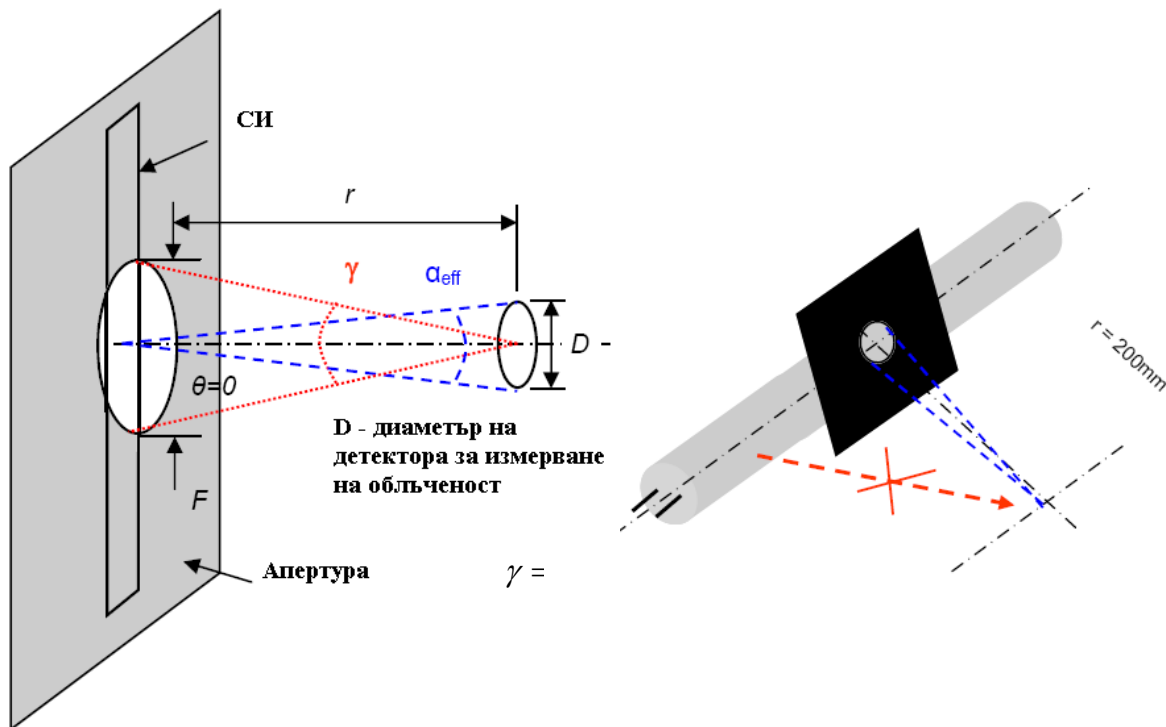
При радиометрични измервания на облъчеността, съгласно [1] е необходимо да се реализира геометрия на опитната постановка, при която е изпълнено условието $\gamma = \alpha_{\text{eff}}$ (зрителното поле да съвпада с ъгловия размер на източника).

При необходимост от класифициране на изделията по яркост е използван метод, съгласно т. 5.2.2.2 на БДС EN 62471:2008. Радиометричните измервания на яркостта се извършват при същата геометрия на опитната постановка, както при измерване на облъчеността, но се гарантира конкретното зрително поле на наблюдателя. В такъв случай яркостта се получава като се раздели измерената облъченост на зададеното зрително поле, при която е изпълнено условието $\gamma = \alpha_{\text{eff}}$. Получените данни от спектрометричния радиометър представляват по върхностната плътност на попадналия върху фотоприемника на радиометъра лъчист поток във W/m^2 , т.е. облъчеността.

Схемата на опитната постановка е представена на фиг.3. За гарантиране на прецизност при задаване на конкретно зрително поле апертурата се поставя в непосредствена близост до излъчващата повърхност като не се допуска размер на плоскостта на апертурата, който позволява попадане на разсеяна светлина върху приемника.

Диаметърът на апертурата и разстоянието до приемника обуславят зрителното поле:

$$\gamma = \frac{F}{r} \quad (1)$$



Фиг. 3 Схема на опитната постановка.

Зависимостта между измерената облъченост E_e и яркостта на източника L_e се определя от:

$$E_e = L_e \cdot \Omega \text{ W}/\text{m}^2 \quad (2)$$

където Ω е пространствения ъгъл в sr, описан от равнинния ъгъл γ в rad. При малки ъгли зависимостта между пространствения и равнинния ъгъл е:

$$\Omega = \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} \text{ sr} \quad (3)$$

От (1), (2) и (3) за яркостта на източника се получава:

$$L_e = \frac{E_e}{\Omega} = E_e \frac{4.r^2}{\pi.F^2} \quad (\text{W}_e/\text{m}^2)/\text{sr} \quad (4)$$

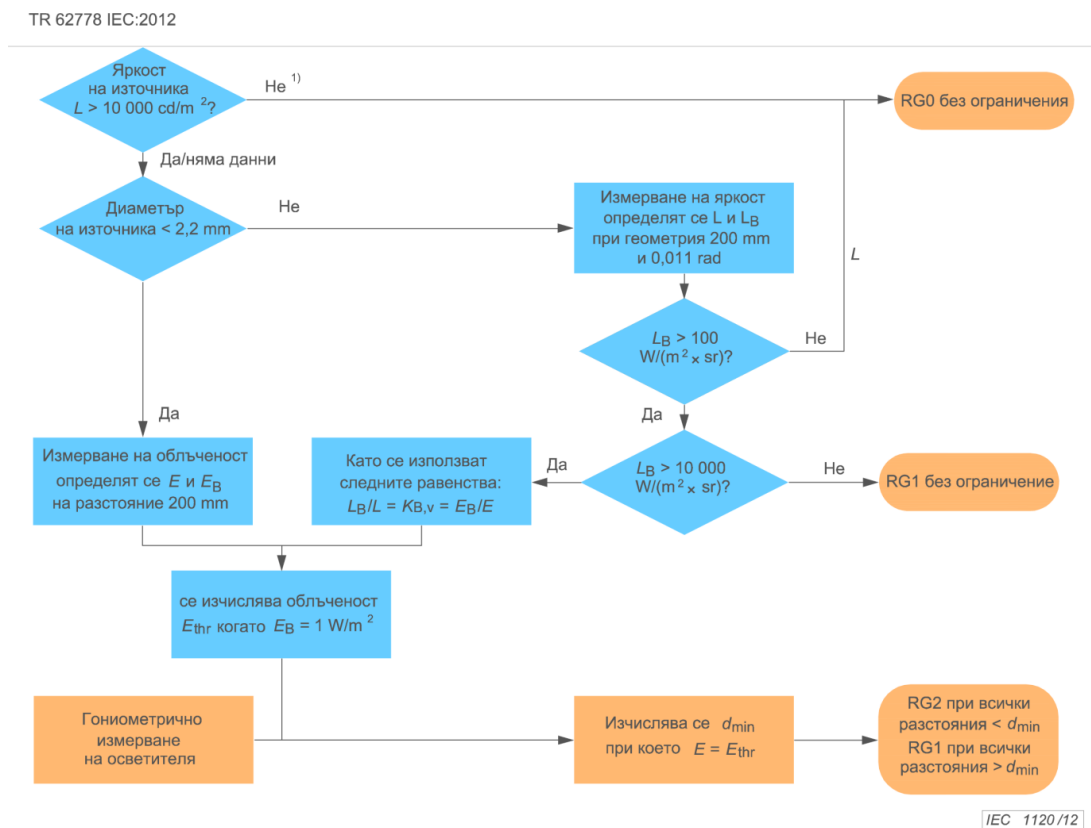
Облъчеността на ретината, оценена по спектрална чувствителност на човешкото око по отношение на настъпване на вредни фотохимични ефекти от наличието на синя компонента на оптичното лъчение $B(\lambda)$, E_B , W_B/m^2 при $t > 100\text{s}$ се получава от:

$$E_B = \sum_{300}^{700} \varepsilon(\lambda).B(\lambda).\Delta\lambda \leq 1 \text{ W}_B/\text{m}^2 \quad (5)$$

където $\varepsilon(\lambda)$ са измерените с радиометъра стойности на облъчеността за всяка дължина на вълната λ , nm при стъпка на изменение на дължината на вълната $\Delta\lambda=5$ nm. Съответно като се приложи уравнение (4) за яркостта на източника, оценена по спектрална чувствителност на човешкото око по отношение на настъпване на вредни фотохимични ефекти от наличието на синя компонента на оптичното лъчение $B(\lambda)$, L_B , $(\text{W}_B/\text{m}^2)/\text{sr}$ се получава:

$$L_B = \sum_{300}^{700} l(\lambda).B(\lambda).\Delta\lambda \leq 100 (\text{W}_B/\text{m}^2)/\text{sr} \quad \text{за } t > 10^4 \text{ s} \quad (6)$$

където $l(\lambda)$ се получава от измерените с радиометъра облъчености чрез прилагане на (4) и представлява спектралното разпределение на яркостта за всяка дължина на вълната λ , nm при стъпка на изменение на дължината на вълната $\Delta\lambda=5$ nm. За определяне на рисковата група е използван алгоритъма, предложен в IEC/TR 62778, фиг.4:

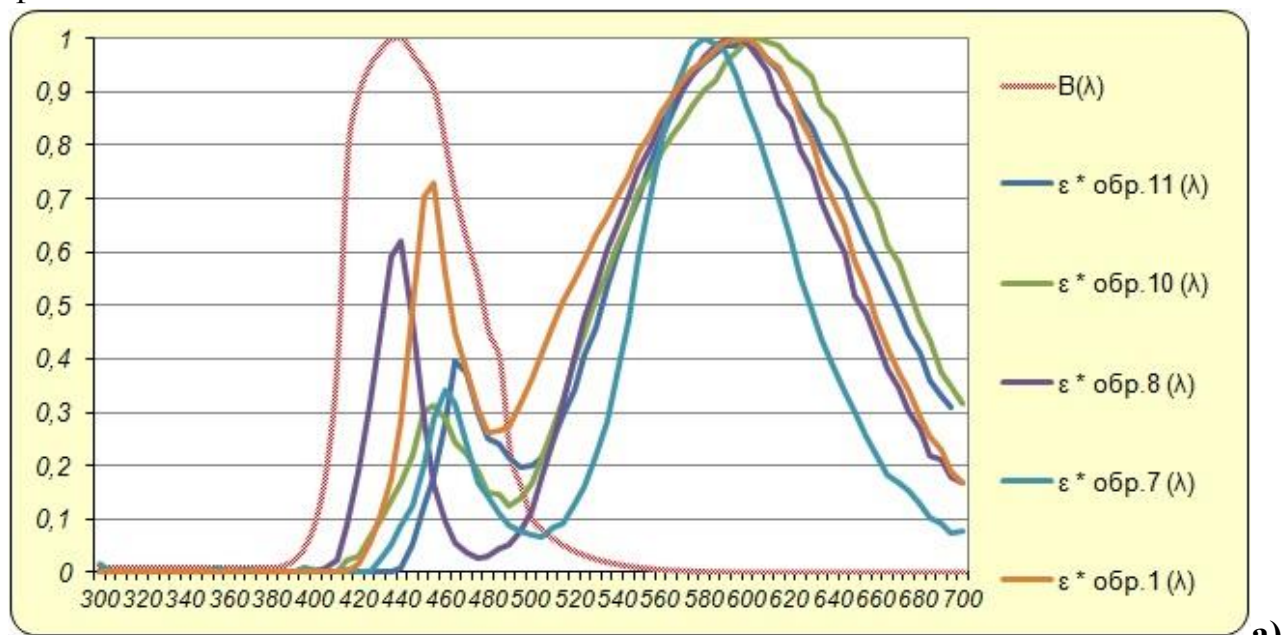


1) Резултатът RG0 следствие от условието $\leq 10\,000 \text{ cd/m}^2$ е валиден само за източници бяла светлина

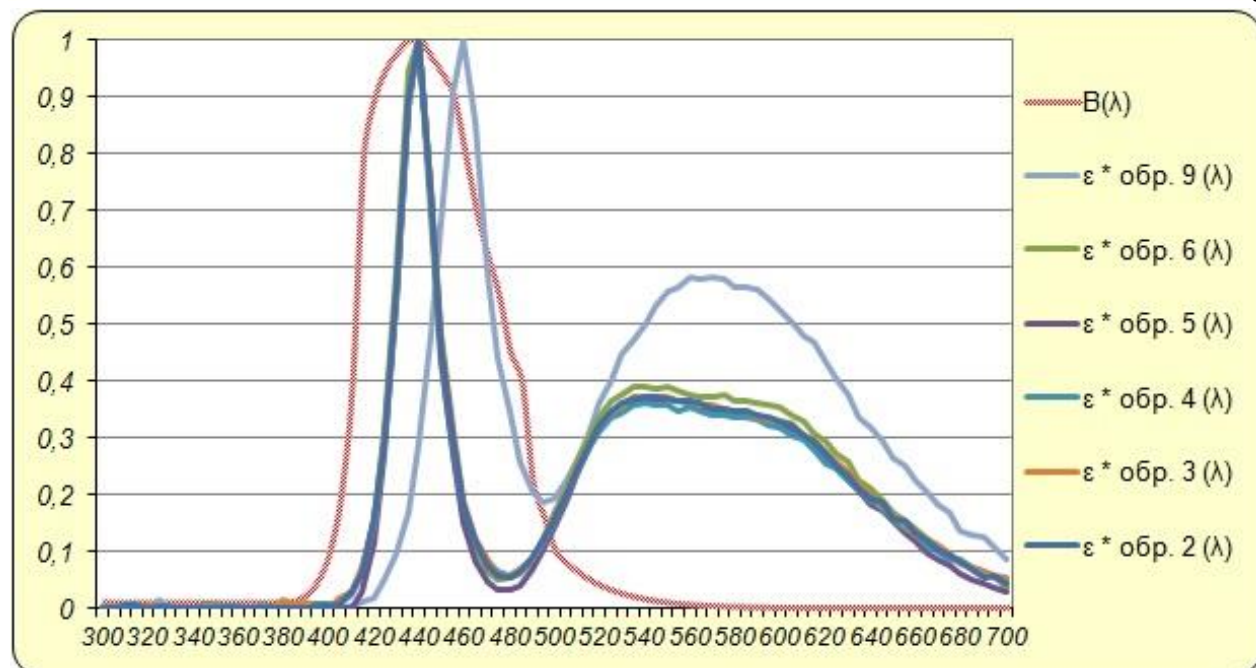
Фиг. 4 Алгоритъм за определяне на рисковата група по отношение на опасност от синя светлина.

Различните образци са измерени при условие за реализирана осветеност 500lx на разстояние по-голямо от 200 mm , със и без апертура, като е определен ъгъла, дефиниращ зрителното поле - γ в rad . За образците, за които е приложимо са представени и резултати при реализиране на опитна постановка разстояние 200 mm и ъглов размер $0,011\text{ rad}$.

Заснетото спектрално разпределение на облъчеността $\varepsilon^*(\lambda)$ в относителни единици за изследваните образци и функцията на спектрална чувствителност на човешкото око по отношение на настъпване на вредни фотохимични ефекти от наличието на синя компонента на оптичното лъчение $V(\lambda)$ е представено на фиг.5.



а)



б)

Фиг.5. Заснето спектрално разпределение на облъчеността $\varepsilon(\lambda)$, $(\text{W}/\text{m}^2)\cdot\text{nm}$ от изследваните образци а) с топло-бял до неутрален цвят на светлината и б) със студено-бял цвят на светлината.

Табл.1 Резултати от радиометрични измервания на различни видове светлодиодни източници и определени, съгласно БДС EN 62471:2008 рискови групи.

Обр. №	Вид светлинен източник	Разстояние на измерване, m	Яркост (голям изт.) / облъченост (малък изт.) оценена по $V(\lambda)$	Корелирана цветна температура, К	Рискова група	Ефективно лъчение в синята част на спектъра $\eta_B, W_B/W$
1	2	3	4	5	6	7
1	Светлодиоден осветител тип „луна“ 30W (0,1 rad)	1,76 (~500lx)	25,05 W/(m ² .sr)	3510	RG 0	0,13
	Светлодиоден осветител тип „луна“ 30W (0,011 rad)	0,2 (0,011rad)	320 W/(m ² .sr)	3449	RG 1	0,14
2	Светлодиодна ретрофит лампа 1 Ø56 (0,054 rad)	0,50 (~500lx)	123,3 W/(m ² .sr)	5218	RG 0	0,28
	Светлодиодна ретрофит лампа 1 Ø56	1,20 (0,05rad)	226,2 W/(m ² .sr)	5925	RG 1	0,31
3	Светлодиодна ретрофит лампа 2 Ø56 (0,1 rad)	0,56 (~500lx)	67,36 W/(m ² .sr)	5875	RG 0	0,31
	Светлодиодна ретрофит лампа 2 Ø56 (0,07 rad с екран)	0,49 (~500lx)	139,7 W/(m ² .sr)	5399	RG 1	0,3
4	Светлодиодна ретрофит лампа 3 Ø56 (0,1 rad)	0,57 (~500lx)	68,89 W/(m ² .sr)	5992	RG 0	0,32
	Светлодиодна ретрофит лампа 3 Ø56 (0,07 rad с екран)	0,52 (~500lx)	139,6 W/(m ² .sr)	5655	RG 1	0,3
5	Светлодиодна ретрофит лампа Ø56 (0,091 rad)	0,62 (~500lx)	75,97 W/(m ² .sr)	5744	RG 0	0,31
	Светлодиодна ретрофит лампа Ø56 (0,066 с екран)	0,53 (~500lx)	138 W/(m ² .sr)	5291	RG 0	0,29
6	Светлодиодна ретрофит лампа Ø56 (0,08 rad)	0,67 (~500lx)	89,32 W/(m ² .sr)	5613	RG 0	0,3
	Светлодиодна ретрофит лампа Ø56 (0,07 rad с екран)	0,52 (~500lx)	141,4 W/(m ² .sr)	5309	RG 1	0,3
7	Светлодиодна ретрофит лампа Ø56 (0,15 rad)	0,32 (~500lx)	4,28 W/(m ² .sr)	2792	RG 0	0,08
8	Светлодиодна ретрофит лампа Ø47 (0,15 rad)	0,31 (~500lx)	9,38 W/(m ² .sr)	3026	RG 0	0,12
9	Линеен светлодиоден осветител 1 (0,07 rad)	0,28 (~500lx)	88,98 W/(m ² .sr)	5049	RG 0	0,23
	Линеен светлодиоден осветител 1 (0,011)	0,2 (0,011rad)	2390,6 W/(m ² .sr)	5206	RG 1	0,24
10	Линеен светлодиоден осветител 2 (0,05 rad)	0,43 (~500lx)	67,47 W/(m ² .sr)	2806	RG 0	0,07
	Линеен светлодиоден осветител 2 (0,011 rad)	0,2 (0,011rad)	471,2 W/(m ² .sr)	2817	RG 1	0,09
11	Линеен светлодиоден осветител 3 (0,05 rad)	1,13 (~500lx)	37,9 W/(m ² .sr)	2877	RG 0	0,06
	Линеен светлодиоден осветител 3 (0,011 rad)	0,2 (0,011rad)	1585,5 W/(m ² .sr)	2919	RG 1	0,08

В табл.1 са представени получените резултати от проведените радиометрични измервания и определените съгласно БДС EN 62471:2008 рискови групи и ефективното лъчение в синята част на спектъра $\eta_B, W_B/W$, за изследваните образци. За определяне на ефективното лъчение в синята част на спектъра се използва (7).

$$\eta_B = \frac{\int_{300}^{700} \Phi_\lambda(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d(\lambda)}{\int_{300}^{700} \Phi_\lambda(\lambda) d(\lambda)} \quad (7)$$

3. ЗАКЛЮЧЕНИЯ И ИЗВОДИ

При всички образци, за които са направени радиометрични измервания при геометрия, в която се получава резултатна осветеност 500lx и при геометрия 200mm, 0,011rad, се наблюдава преминаване към по-висока рискова рискова група във втория случай.

При източници с малка мощност и съответно малък лъчист поток, стандартното условие за измерване на източници на светлина, предназначени за общо осветление при осветеност 500 lx се оказва неприложимо. Полученият ъглов размер е по-голям от максимално допустимия, посочен в нормативната документация $\gamma = \alpha_{\max} = 0,1 \text{ rad}$. При маломощни светлинни източници определящ фактор за приложимостта на критериите за рискова група е тяхната яркост. Прави силно впечатление, че при екраниране на част от излъчващата повърхност при светлодиодни източници се наблюдава изменение, както в отчетената корелирана цветна температура, така и в принадлежността към определена рискова група. Това явление може да се обясни с факта, че голяма част от светлодиодните изделия не излъчват хомогенно по цялата си повърхност. От друга страна получените резултати показват, че за един и същи светлинен източник при намаляване на ъгловия размер с цел радиометриране на равнорка излъчваща повърхност (и измерване при условие за реализирана осветеност 500 lx), се преминава в по-висока рискова група.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 62471:2008 Фотобиологична безопасност на лампи и системи от лампи
- [2] IEC/TR 62778, Приложение на EN62471 за оценката на риска от синя светлина от лампи и осветителни тела
- [3] HAZARD ASSESSMENT OF LAMPS FOLLOWING THE CIE LAMP SAFETY STANDARD, Marko Weber; Karl Schulmeister, ARC Seibersdorf research, Health Physics Division, A-2444 Seibersdorf
- [4] Handbook of LED Metrology, INSTRUMENT SYSTEMS GmbH

Автори: Камелия Николова, гл. асистент д-р, катедра „Обща електротехника“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: knikolova@tu-sofia.bg; Николина Янева, маг. физ., отговорник по качеството в НИИКЛ “Осветителна техника”, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: niya@tu-sofia.bg; Петя Джановска, маг. инж. Докторант, катедра „ЕСЕОЕТ“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: p_djanovska@tu-sofia.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент гл. ас. д-р инж. Ива Петринска

ИЗБОР НА ФИЛТРИ ЗА СЪГЛАСУВАНЕ НА ФОТОЕЛЕМЕНТИ ПО КРИВАТА ЗА ОЦЕНЯВАНЕ НА ФОТОБИОЛОГИЧНИЯ РИСК ОТ СИНЯ СВЕТЛИНА

Камелия Николова, Петя Джановска, Димитър Павлов

Резюме: За количествено определяне на въздействието от синя светлина може да се подходи по два начина:

а) чрез извършване на радиометрични измервания на спектралната интензивност на лъчението на източниците и оценяването ѝ по функцията на спектрална чувствителност на човешкото око към синя светлина $B(\lambda)$;

б) чрез директно измерване на интегрални величини посредством фотоприемници, чиято относителна спектрална чувствителност е съгласувана спрямо $B(\lambda)$.

В доклада са представени подходи за съгласуване на фотоеlementи спрямо $B(\lambda)$ посредством избор на филтри.

Ключови думи: фотобиологичен риск от синя светлина, съгласуване на фотоеlementи, филтри.

SELECTION OF PHOTOELEMENTS' FILTERS FOR EVALUATION OF "BLUE LIGHT HAZARD"

Kamelia Nikolova Petya Djanovska, Dimitar Pavlov

Abstract: Measurement of the "Blue light" photobiological effect could be done by applying two methods:

a) Radiometric measurement of the spectral intensity of radiation from the sources and its evaluation with the "Blue light hazard" spectral responsibility of the human eye $B(\lambda)$;

b) Direct measurement of the integral "Blue light hazard" with photodetectors which possess identical spectral responsibility with $B(\lambda)$

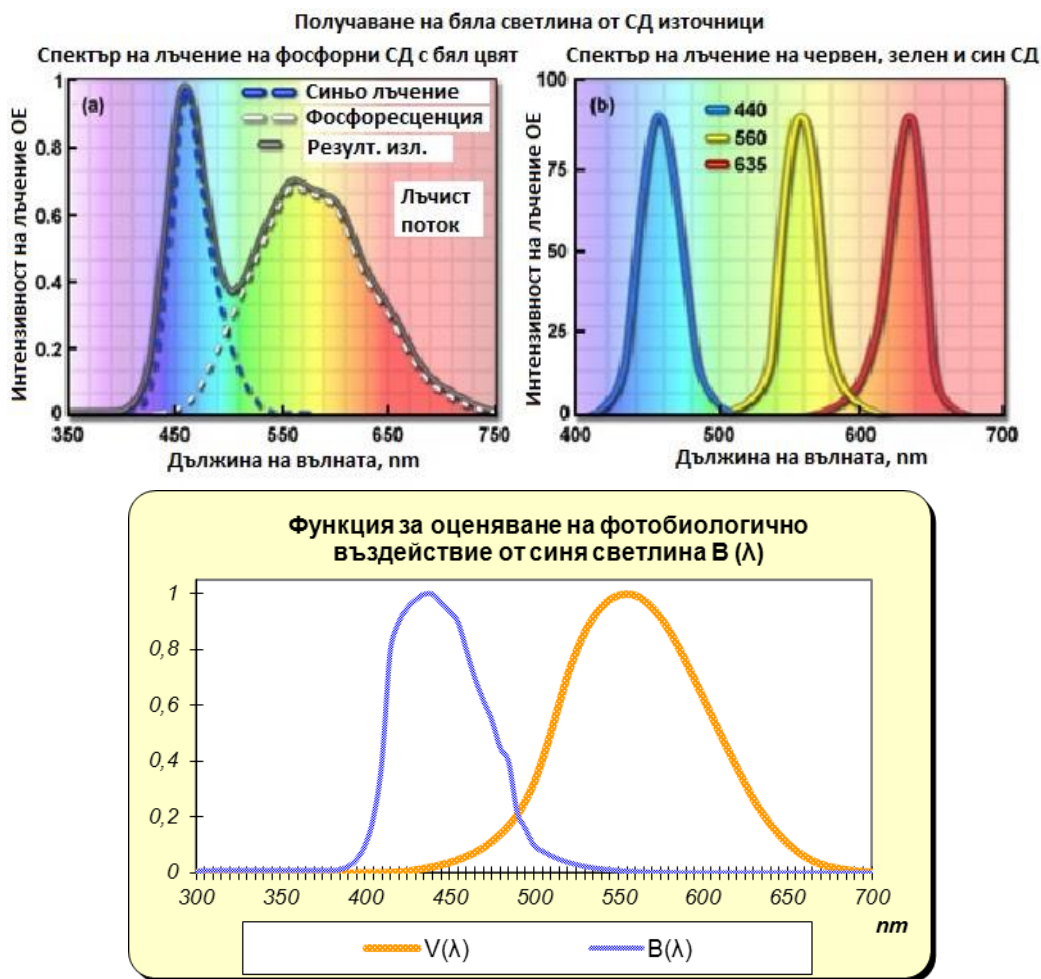
The present paper represents methods for approaching the spectral sensibility of photoelements to $B(\lambda)$ with the use of filtering elements.

Keywords: blue light hazard, spectral responsibility of photoelements, filters

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Използването на различни източници на оптично лъчение и тяхното фотобиологично въздействие върху човешкия организъм е често дискутиран въпрос в съвременното. Особен интерес представлява фотобиологичния риск от лъченията

във видимата част на спектъра, характеризиращи се с изразена интензивност в синята част на спектъра. Типични представители на такъв вид оптични лъчения са светодиодните източници, независимо от използваната технология за получаване на бяла светлина, фиг.1 [1]. Максимумът на функцията, определяща степента на увреждане на ретината от количеството лъчение в синята част на спектъра, $V(\lambda)$, е между 446-477nm и съвпада с типичния максимум на излъчване в същата област на широко разпространените фосфорни светодиоди.



Фиг.1. Получаване на бяла светлина от светодиодни източници [1] и функция за оценяване на фотобиологичното въздействие от синя светлина.

Обект на оценяване може да бъдат не само светодиодни източници на оптично лъчение, които се характеризират с различен спектрален състав на лъчение то си и с различна интензивност за спектралния диапазон от 300 nm до 700 nm , в който се извършва оценяването на фотобиологичното въздействие от синя светлина по $V(\lambda)$.

За количествено определяне на въздействието от синя светлина са възможни два подхода:

1) Извършване на радиометрични измервания на спектралната интензивност на лъчението на източниците и оценяването ѝ по функцията на спектрална

чувствителност на човешкото око към синя светлина $V(\lambda)$, съгласно БДС EN 62471:2008 [2];

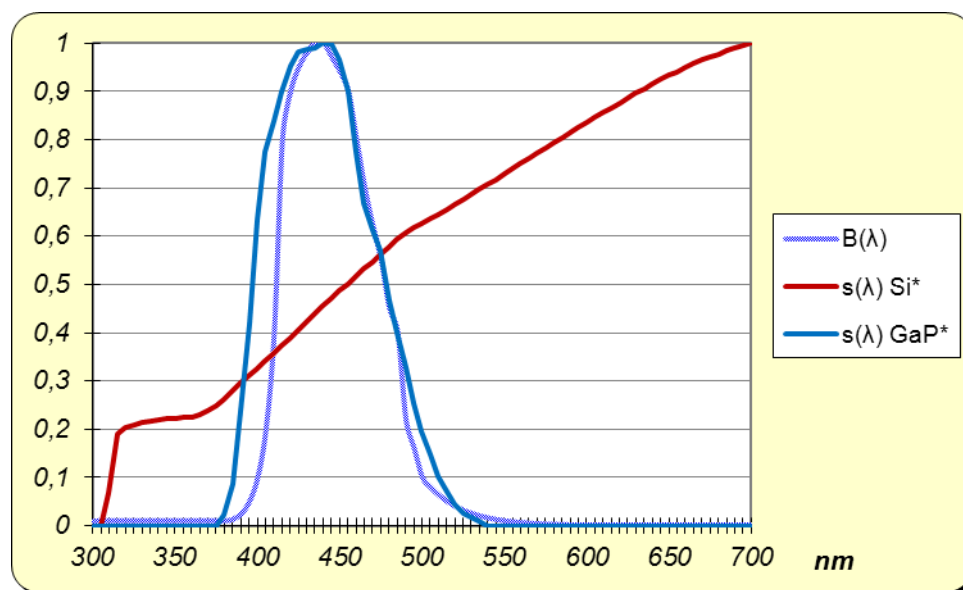
2) Директно измерване на интегрални величини, облъченост от синя светлина E_B , W_B/m^2 и лъчиста яркост на излъчващите повърхности по отношение на синята компонента L_B , $(W_B/m^2)/sr$, посредством фотоприемници, чиято относителна спектрална чувствителност е съгласувана спрямо $V(\lambda)$.

Коректното количествено определяне на интегралните величини E_B и L_B , по които се извършва оценката за наличие на риск от синя светлина изисква съгласуване на избраните фотоприемници.

В работата са представени получените резултати от съгласуване на различни фотоелементи спрямо $V(\lambda)$ посредством избор на филтри.

2. ИЗБОР НА ФИЛТРИ ЗА СЪГЛАСУВАНЕ НА ФОТОЕЛЕМЕНТИ ПО КРИВАТА ЗА ОЦЕНЯВАНЕ НА ФОТОБИОЛОГИЧНИЯ РИСК ОТ СИНЯ СВЕТЛИНА

За фотометриране на фотобиологичното въздействие от синя светлина може да бъдат използвани различни фотоприемници. Тяхната относителна спектрална чувствителност като цяло се отличава от функцията за определяне на фотобиологичен риск от синя светлина $V(\lambda)$. На фиг.2 е представена относителната спектрална чувствителност на силициевите фотодиоди $s(\lambda) Si^*$ [4], намерили широко приложение в измерването на светлотехнически величини, относителната спектрална чувствителност на фотодиоди от галиев фосфид $s(\lambda) GaP^*$ (предназначени за измерване на синя светлина, съгласно указанията на производителите за област на приложение) [5] и функцията $V(\lambda)$.



Фиг.2. Относителна спектрална чувствителност на силициев фотодиод $s(\lambda) Si^*$ [4], на GaP фотодиод $s(\lambda) GaP^*$ [5] и чувствителност на човешкото око по отношение на лъчение в синята част на спектъра $V(\lambda)$.

За да бъде пропорционален тока $i_{\phi n}$ на фотоелектронния преобразувател на ефективния лъчист поток Φ_B , попаднал на приемната му повърхност и определящ наличие на фотобиологично въздействие е необходимо спектралната чувствителност на фотоелектронния преобразувател $s(\lambda)$ да съвпада със спектралната чувствителност на човешкото око по отношение на лъчения в синята част на спектъра $B(\lambda)$ или $s(\lambda) \equiv B(\lambda)$:

$$i_{\phi n} \approx \Phi_B = \int_{300nm}^{700nm} \varphi(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1)$$

Зависимостта е аналогична на принципите за спектрална корекция на фотоприемници по отношение на относителната спектрална чувствителност на зрителния анализатор [3].

Получаване на съвпадение на кривите $B(\lambda)$ и $s(\lambda)$ може да се получи по два начина:

1) Чрез използване на корекционни коефициенти K_1 при малки различия на $B(\lambda)$ и $s(\lambda)$:

$$K_{1_CH} \cdot s(\lambda) = B(\lambda) \quad (2)$$

2) Чрез използване на филтри с коригираща функция $\tau(\lambda)$, така че:

$$K_2 \cdot s(\lambda) \cdot \tau(\lambda) = s_{\text{рез}}(\lambda) = B(\lambda) \quad (3)$$

където K_2 е калибровъчна константа, отчитаща понижаването на чувствителността на фотоприемника при използване на филтър, определена от:

$$K_2 = \frac{(B(\lambda)/s(\lambda))_{\max}}{\tau(\lambda)_{\max}} \quad (4)$$

При известни $B(\lambda)$ и $s(\lambda)$ на фотоприемника, коригиращата функция на филтъра $\tau(\lambda)$, се получава от:

$$\tau(\lambda) = \frac{B(\lambda)}{K_2 \cdot s(\lambda)} \quad (5)$$

За определяне на търсената коригираща функция може да се поставят различни ограничителни условия, но намирането на практическо решение е свързано с наличната елементна база, както по отношение на фотоприемници, така и по отношение на филтриращи елементи.

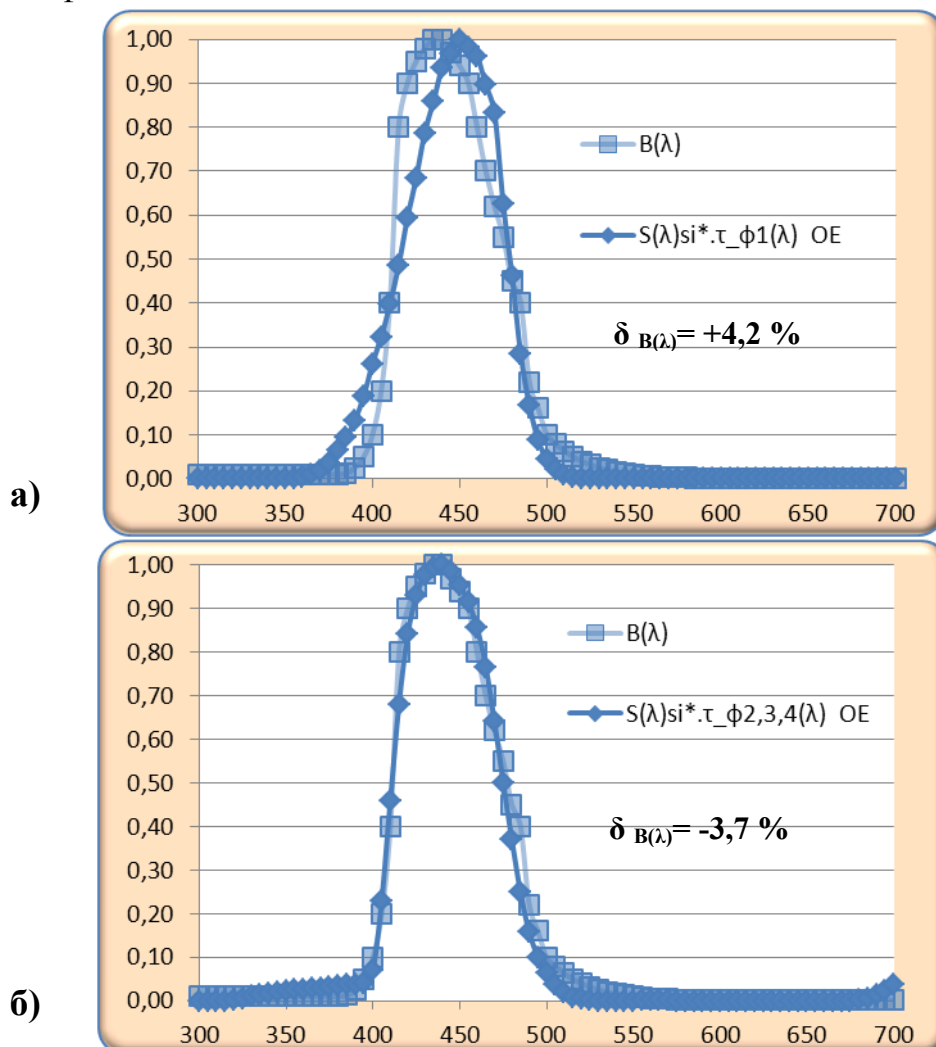
Оценяване на получените резултати може да се направи посредством определяне на относителното отклонение на спектралната чувствителност на комплекта фотоелемент - филтри $s_{\text{рез}}^*(\lambda)$ по отношение на спектралната чувствителност на човешкото към синя светлина $B(\lambda)$:

$$\delta_{B(\lambda)} = \frac{\sum_{\lambda=300}^{700} s_{\text{рез}}^*(\lambda) \cdot \Delta\lambda - \sum_{\lambda=300}^{700} B(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300}^{700} B(\lambda) \cdot \Delta\lambda} \cdot 100, \% \quad (6)$$

Наличните към настоящия момент фотодиоди от GaP [5], предназначени за измерване на лъчение в синята част на спектъра имат спектрална чувствителност близка до $B(\lambda)$, но директното им използване би довело до значителни отк-

лонения от действителната облъченост E_B , W_B/m^2 . Полученото относително отклонение от $B(\lambda)$ по (6) е 18,6 %. При търсене на подходящо съгласуван комплект от фотоелемент и филтри са разгледани различни варианти, като се използват налични каталожни параметри, както за фотодиодите [4, 5], така и за филтриращите елементи [6]. При търсене на подходящи решения е поставено изискване, абсолютната стойност на относителното отклонение на комплекта фотоелемент-филтри от функцията $B(\lambda)$ да не надвишава 5%. При работа с базата данни за филтриращите елементи се използват различни видове филтри (широкоспектърни, пропускащи в конкретен интервал на дължини на вълните и пропускащи от зададена дължина на вълната), като за всеки от тях се задава конкретна дебелина. Търсените решения се отнасят за съгласуване на силициевы фотоелементи и фотоелементи от GaP.

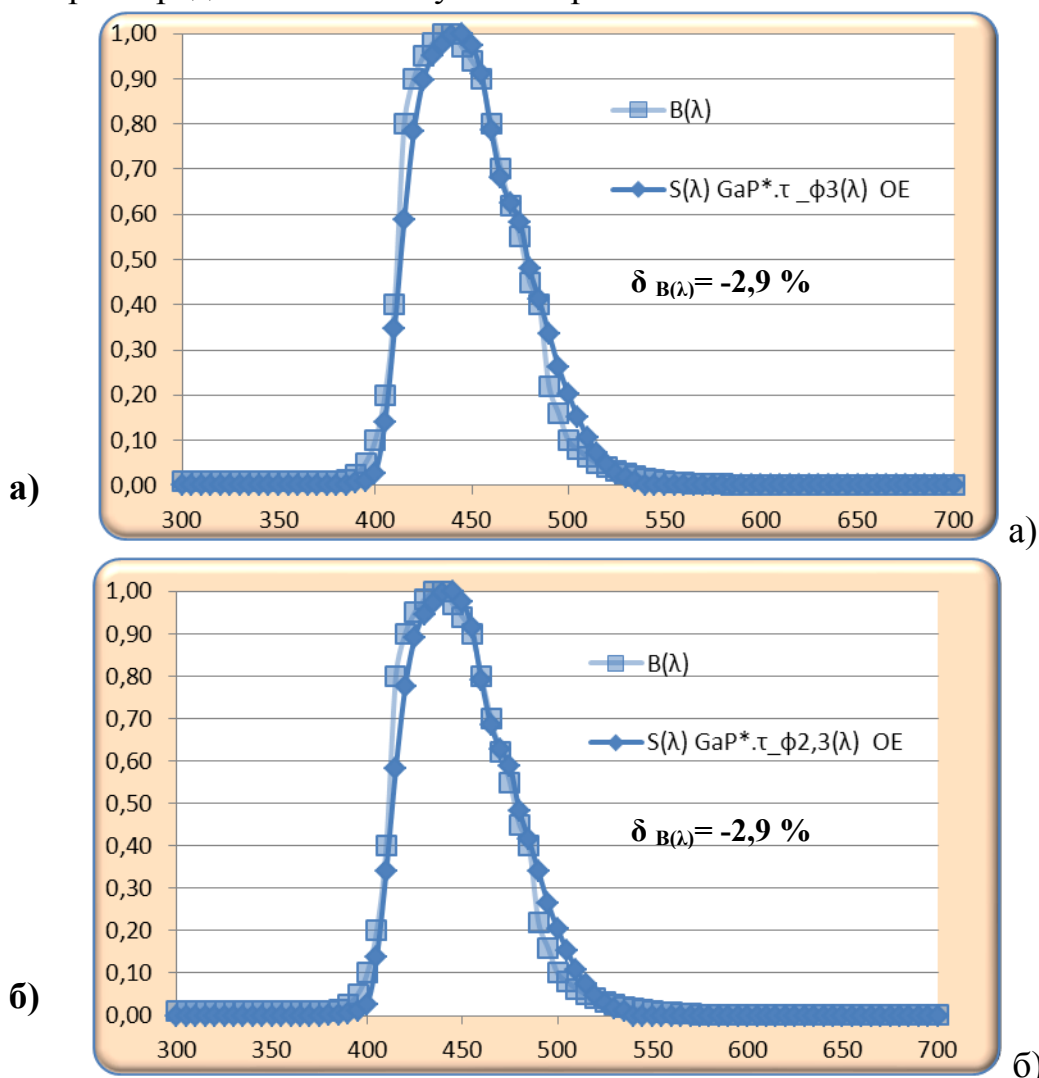
На фиг.3 са представени получените резултати от многовариантните решения и комбинации с най-малко отклонение от целевата функция при съгласуване на силициевы фотоелементи.



Фиг.3. Относителна спектрална чувствителност на комбинация от силициев фотодиод $s(\lambda)$ Si* с а) един филтър, характеризиращ се със спектрални коефициенти на пропускане $\tau_{\phi 1}(\lambda)$ при дебелина 8 mm и б) три филтъра, характеризиращи се със спектрални коефициенти на пропускане $\tau_{\phi 2,3,4}(\lambda)$ при обща дебелина на комбинацията от филтри 4 mm.

Представеното на фиг.3.а решение удовлетворява поставеното изискване относителното отклонение на резултантната спектрална чувствителност на комплекта да не надвишава 5%, но се характеризира с някои съществени недостатъци. Голямата дебелина на използвания филтър ще доведе до значително намаляване на тока на фотоелектронния преобразувател и съответно ограничаване на обхвата на измерваните величини. Освен това има изместване на максималната чувствителност на резултантната спектрална чувствителност и съществени несъответствия в диапазона между 415 nm и 475 nm. Това може да доведе до големи отклонения на измерваните величини при различните източници на оптично лъчение, характеризиращи се с различен спектрален състав.

Подходящо за практическо изпълнение е второто решение, фиг.3.б. За реализирането му са необходими три вида оптични филтри, но по-малката дебелина, респективно по-големият коефициент на пропускане и по-доброто съгласуване са безспорни предимства на полученото решение.



Фиг. 4 Относителна спектрална чувствителност на комбинация от фотодиод от GaP $s(\lambda)$ GaP* с а) един филтър, характеризиращ се със спектрални коефициенти на пропускане $\tau_{\phi 3}(\lambda)$ при дебелина 1 mm и б) два филтъра, характеризиращи се със спектрални коефициенти на пропускане $\tau_{\phi 2,3}(\lambda)$ при обща дебелина на комбинацията от филтри 2 mm

На фиг.4 са представени получените резултати от многовариантните решения и комбинации с най-малко отклонение от целевата функция при съгласуване на фотоелементи от GaP.

При търсене на подходящо решение за съгласуване на фотодиоди от GaP не е необходимо използването на широкоспектърни филтри, тъй-като те не са чувствителни към дължини на вълните по-големи от 540 nm.

Освен това, по-съществени различия в спектралната чувствителност на тези фотодиоди по отношение на целевата функция са налични при дължини на вълните от 350 nm до 425 nm, което улеснява поставената задача.

Трябва да се отбележи, че за съгласуване се използват същите филтриращи елементи (със спектрален коефициент на пропускане $\tau_{\phi 2}(\lambda)$ и $\tau_{\phi 3}(\lambda)$) със същите дебелини като при решаване на задачата за съгласуване на силициевы фотоеlementи от фиг.3.б.

Подходящи за практическо приложение са и двата варианта, представени на фиг.4. Предимствата на получените решения са по-малък брой филтриращи елементи с по-голям интегрален коефициент на пропускане, по-малко отклонение от целевата функция и възможности за измерване на по-ниски нива на облъченост $E_B, W_B/m^2$.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЯ И ИЗВОДИ

Получените резултати са подходящи за конструиране на уред за директно измерване на интегралните величини, характеризиращи фотобиологичното въздействие върху човека от наличие на лъчение в синята част на спектъра: облъченост от синя светлина $E_B, W_B/m^2$ и лъчиста яркост на излъчващите повърхности по отношение на синята компонента $L_B, (W_B/m^2)/sr$, посредством фотоприемници, чиято относителна спектрална чувствителност е съгласувана спрямо $B(\lambda)$.

Корекционни коефициенти за по-фино съгласуване на комплекта фотоприемник-филтриращи елементи може да бъдат определени след комплектоване на необходимите конструктивни елементи и калибриране на уреда за директно измерване на фотобиологичното въздействие от наличие на лъчение в синята част на спектъра за различни светлинни източници.

ЛИТЕРАТУРА

[1] <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/articles/lightsources/leds.html>, Fundamentals of Light Emitting Diodes (LEDs)

[2] БДС EN 62471:2008 Фотобиологична безопасност на лампи и системи от лампи

[3] Пачаманов А., Изчисляване на филтри за спектрална корекция на фотоприемници, използвани във физическата фотометрия, Известия на ВМЕИ "В.И. Ленин", т.43, кн. 9, 1988

[4] www.farnell.com/datasheets/8765.pdf

[5] www.farnell.com/datasheets/1678737.pdf

[6] www.schott.com

Автори: Камелия Николова, гл. асистент д-р, катедра „Обща електротехника“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: knikolova@tu-sofia.bg Петя Джановска, маг. инж. Докторант, катедра „ЕСЕОЕТ“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: p_djanovska@tu-sofia.bg ; Димитър Павлов, асистент маг. инж., катедра „Обща електротехника“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: dpavlov@tu-sofia.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент гл.ас. д-р инж. Ива Петринска

ВЛИЯНИЕ НА СПЕКТРАЛНИТЕ КОЕФИЦИЕНТИ НА ОТРАЖЕНИЕ НА ПЪТНИТЕ НАСТИЛКИ НА ЗРИТЕЛНОТО УСЕЩАНЕ В МЕЗОПИЧНАТА ОБЛАСТ

Димитър Павлов

Резюме: *Отношението S/P на светлинния източник показва колко пъти той е по-ефективен при оценяването му по крива $V'(\lambda)$ спрямо оценяването му по крива $V(\lambda)$. За изчисляване на параметъра по различни методики се използва спектрална плътност на лъчистия поток $\varphi(\lambda)$ на светлинния източник или неговата цветна температура. Мезопичната яркост L_{mes} (cd/m^2) е получена от отношението S/P преизчислено на базата на отразения от различни пътни настилки (N1-N7) светлинен поток и коефициента на пропускане на лещата на окото на наблюдатели от различни възрастови групи. Отчитане на влиянието на спектралните коефициенти на отражение на пътните настилки и коефициента на пропускане на лещата на окото ще оптимизира досегашните методики.*

Ключови думи: *мезопична яркост, отношението S/P , коефициент на пропускане на лещата на окото, пътни настилки*

IMPACT OF THE SPECTRAL REFLECTANCE COEFFICIENTS ON THE ROAD SURFACES AND ON THE VISUAL SENSATION IN THE MESOPIC REGION

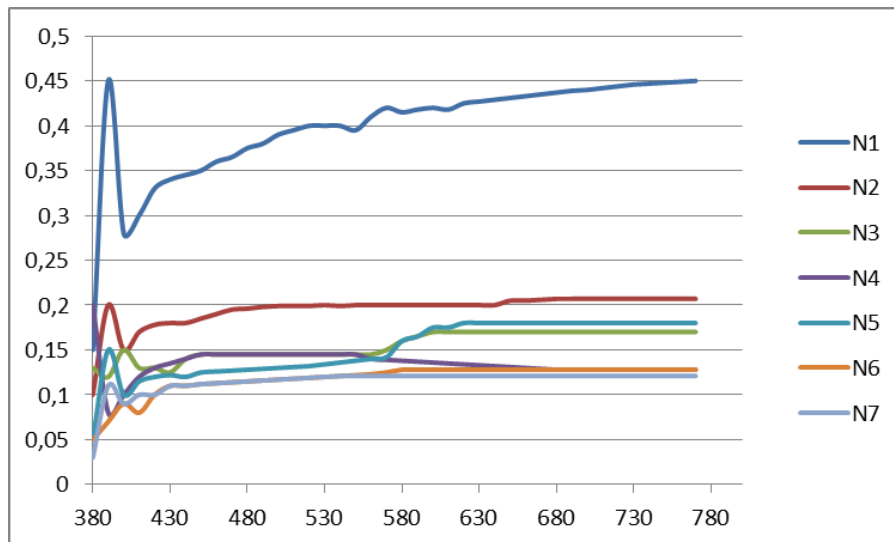
Dimitar Pavlov

Abstract: *The ratio S/P of the light source shows how much more effective it is when evaluated according to the curve $V'(\lambda)$ than when evaluated according to the curve $V(\lambda)$. For calculation of this parameter, using different methods, is used the spectral density of the luminous flux $\varphi(\lambda)$ of the light source or its color temperature. The mesopic luminance L_{mes} (cd/m^2) is obtained from the ratio S/P , recalculated on the basis of the reflected luminous flux by different road surfaces (N1-N7) and the transmission coefficient of the lens of the observers from different age groups. Taking into consideration the impact of the spectral reflectance coefficients of the road surfaces and the transmission coefficient of the lens of the eye will optimize the existing methods.*

Keywords: *mesopic luminance, S/P ratio, human eye transmittance, road surface*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Изследва се влиянието на спектралното разпределение на лъчистия поток отразен от пътната настилка и спектралния коефициент на пропускане на лещата на окото за определяне на коефициента S/P, оценен е отразеният лъчист поток от 7 типа пътни настилки (фиг.1) за НЛВН и 4 типа LED осветители. С напредване на възрастта лещата на окото постепенно потъмнява и пожълтява, поради тази причина изчисленията за влиянието на коефициента на пропускане на лещата на окото са направени за различни възрастови групи фиг.2.



Фиг.1. Спектрален коефициент на отражение на образци от пътни настилки [2]

2. СЪЩИНСКА ЧАСТ

Отношението S/P на светлинния източник показва колко пъти той е по-ефективен при оценяването му по крива $V'(\lambda)$ (нощно виждане) спрямо оценяването му по крива $V(\lambda)$ (дневно виждане).

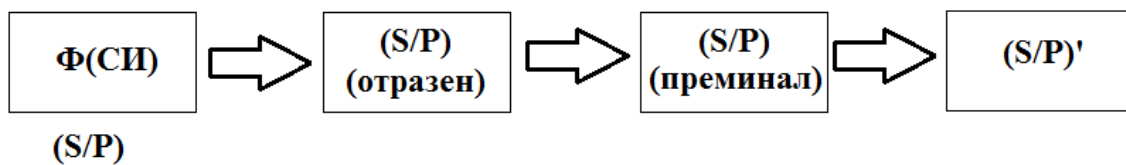
$$S/P = \frac{1700 \sum_{i=1}^n \varphi(\lambda_i) \cdot V'(\lambda_i) \cdot \Delta\lambda}{683 \sum_{i=1}^n \varphi(\lambda_i) \cdot V(\lambda_i) \cdot \Delta\lambda} \quad (1)$$

За отчитане на влиянието на спектралните коефициенти на отражение на пътните настилки и коефициента на пропускане на лещата на окото се предлага $(S/P)'$:

$$(S/P)' = \frac{1700 \sum_{i=1}^n \varphi(\lambda_i) \cdot V'(\lambda_i) \cdot \tau(\lambda_i) \cdot \rho(\lambda_i) \cdot \Delta\lambda}{683 \sum_{i=1}^n \varphi(\lambda_i) \cdot V(\lambda_i) \cdot \tau(\lambda_i) \cdot \rho(\lambda_i) \cdot \Delta\lambda}, \quad (2)$$

където 683, lm/W е максималната спектрална светлинна ефективност на

дневното зрение, получена за монохроматично излъчване с дължина на вълната $\lambda_m=555$ nm (лъчист поток с мощност 1/683 W, излъчен при $\lambda_m=555$ nm съответства на светлинен поток $\Phi=1$ lm); 1700, lm/W е максималната спектрална светлинна ефективност на нощното човешко зрение, получена за монохроматично излъчване с дължина на вълната $\lambda_m=507$ nm (лъчист поток с мощност 1/1700 W, излъчен при $\lambda_m=507$ nm е равностоеен на светлинен поток $\Phi'=1$ lm); $\varphi(\lambda)$, W/nm – стойности на спектралната плътност на лъчистия поток Φ_e , W в диапазона 380-780 nm; $\tau(\lambda_i)$ - спектрален коефициент на пропускане на лещата на окото за дължина на вълната (λ_i); $\rho(\lambda_i)$ - спектрален коефициент на отражение на уличната настилка за дължина на вълната (λ_i); $\Delta\lambda$ – стъпка за дискретизация на диапазона 380-780 nm.



Фиг.2. Блок схема на отношението S/P в зависимост от светлинния поток

След интерполация точната стойност на L_{mes} (мезопична яркост) като функция на S/P и L_{ph} (фотопична яркост) се отчита от табл. 1 [1].

Табл. 1
Получаване на L_{mes} като функция на S/P и L_{ph} [1]

S/P	Фотопична яркост / cdm^2						
	0,01	0,03	0,1	0,3	1	3	4,5
0,25	0,0025	0,0145	0,0705	0,2467	0,913	2,9265	4,782
0,35	0,0035	0,0174	0,075	0,2545	0,9253	2,9367	4,4812
0,45	0,0045	0,0198	0,0793	0,262	0,9373	2,9468	4,4842
0,55	0,0057	0,022	0,0834	0,2693	0,9492	2,9568	4,4872
0,65	0,0069	0,0239	0,0873	0,2764	0,9608	2,9666	4,4901
0,75	0,0079	0,0258	0,0911	0,2833	0,9722	2,9763	4,4929
0,85	0,0088	0,0275	0,0947	0,2901	0,9835	2,9859	4,4958
0,95	0,0096	0,0292	0,0983	0,2967	0,9945	2,9953	4,4986
1,05	0,0104	0,0308	0,1017	0,3032	1,0054	3,0046	4,5014
1,15	0,0111	0,0323	0,1051	0,3096	1,0161	3,0139	4,5041
1,25	0,0118	0,0338	0,1083	0,3158	1,0267	3,023	4,5068
1,35	0,0125	0,0353	0,1115	0,322	1,0371	3,0319	4,5095
1,45	0,0132	0,0367	0,1147	0,328	1,0473	3,0408	4,5122
1,55	0,0138	0,0381	0,1178	0,3339	1,0575	3,0496	4,5148
1,65	0,0145	0,0395	0,1208	0,3398	1,0674	3,0582	4,5174
1,75	0,0151	0,0408	0,1238	0,3455	1,0773	3,0668	4,52
1,85	0,0157	0,0421	0,1267	0,3512	1,087	3,0753	4,5225
1,95	0,0163	0,0434	0,1295	0,3568	1,0966	3,0836	4,525
2,05	0,0169	0,0446	0,1324	0,3623	1,106	3,0919	4,5275

2.1. ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА S/P НА БАЗА ОТРАЗЕН ЛЪЧИСТ ПОТОК ОТ ПЪТНА НАСТИЛКА

На базата на дадените в [1] спектрални отразителни характеристики са изчислени $\Delta S/P$ по (4) и $\Delta Lmes$ по (5) за отразения светлинен поток за НЛВН, LED3500K, LED4000K, LED5000K и LED6500K.

$$S/P(\text{отразен}) = \frac{1700 \sum_{i=1}^n \varphi(\lambda_i) \cdot V'(\lambda_i) \cdot \rho(\lambda_i) \Delta \lambda}{683 \sum_{i=1}^n \varphi(\lambda_i) \cdot V(\lambda_i) \cdot \rho(\lambda_i) \Delta \lambda} \quad (3)$$

$$\Delta S/P = \frac{S/P(\text{отразен}) - S/P}{S/P} \quad (4)$$

$$\Delta(Lmes) = \frac{Lmes' - Lmes}{Lmes} \quad (5)$$

Табл. 2

*Разликата между $S/P(V, V')$ и $S/P(\text{отр})$, и разликата в $Lmes$ в проценти като за базисни са приети S/P и $Lmes$ за LED 3500K, $S/P(V, V')=1,4942$ и $Lmes=0,3306 \text{ cd/m}^2$

Пътна настилка, №	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
$S/P(\text{отр})$	1,4208	1,4715	1,4048	1,5331	1,3189	1,4257	1,461
$\Delta S/P, \%$	-5%	-2%	-6%	3%	-12%	-5%	-2%
$Lmes \text{ от } S/P(\text{отр})$	0,3263	0,3293	0,3253	0,3329	0,3201	0,3265	0,3286
$\Delta Lmes, \%$	-1%	0%	-2%	1%	-3%	-1%	-1%

Табл. 3

*Разликата между $S/P(V, V')$ и $S/P(\text{отр})$, и разликата в $Lmes$ в проценти като за базисни са приети S/P и $Lmes$ за LED 4000K, $S/P(V, V')=1,5229$ и $Lmes=0,3323 \text{ cd/m}^2$

Пътна настилка, №	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
$S/P(\text{отр})$	1,4474	1,4977	1,4390	1,5609	1,3548	1,4550	1,4889
$\Delta S/P, \%$	-5%	-2%	-6%	2%	-11%	-4%	-2%
$Lmes \text{ от } S/P(\text{отр})$	0,3278	0,3308	0,3273	0,3345	0,3223	0,3283	0,3303
$\Delta Lmes, \%$	-1%	0%	-1%	1%	-3%	-1%	-1%

Табл. 4

*Разликата между $S/P(V, V')$ и $S/P(\text{отр})$, и разликата в $Lmes$ в проценти като за базисни са приети S/P и $Lmes$ за LED 5000K, $S/P(V, V')=1,9412$ и $Lmes=0,3563 \text{ cd/m}^2$

Пътна настилка, №	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
$S/P(\text{отр})$	1,8357	1,9050	1,8368	1,9849	1,7258	1,8485	1,89
$\Delta S/P, \%$	-5%	-2%	-5%	2%	-11%	-5%	-3%
$Lmes \text{ от } S/P(\text{отр})$	0,3504	0,3543	0,3504	0,3587	0,3441	0,3511	0,3534
$\Delta Lmes, \%$	-2%	-1%	-2%	1%	-3%	-1%	-1%

Табл. 5

*Разликата между $S/P(V, V')$ и $S/P(\text{отр})$, и разликата в $Lmes$ в проценти като за базисни са приети S/P и $Lmes$ за LED 6500K, $S/P(V, V')=2,1791$ и $Lmes=0,3693 \text{ cd/m}^2$

Пътна настилка, №	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
$S/P(\text{отр})$	1,8765	1,9457	1,8955	2,0285	1,7856	1,8941	1,9329
$\Delta S/P, \%$	-14%	-11%	-13%	-7%	-18%	-13%	-11%
$Lmes \text{ от } S/P(\text{отр})$	0,3527	0,3566	0,3538	0,3611	0,3475	0,3537	0,3558
$\Delta Lmes, \%$	-4%	-3%	-4%	-2%	-6%	-4%	-4%

Табл. 6

*Разликата между S/P(V,V') и S/P(отр), и разликата в Lmes в проценти като за базисни са приети S/P и Lmes за НЛВН, S/P(V,V')= **0,5517** и Lmes=**0,2693 cd/m²**

Пътна настилка, №	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
S/P _(отр)	0,5296	0,5469	0,517	0,5663	0,4889	0,529	0,5419
ΔS/P, %	-4%	-1%	-6%	3%	-11%	-4%	-2%
Lmes от S/P _(отр)	0,2678	0,2691	0,2669	0,2705	0,2648	0,2678	0,2687
ΔLmes, %	-1%	0%	-1%	0%	-2%	-1%	0%

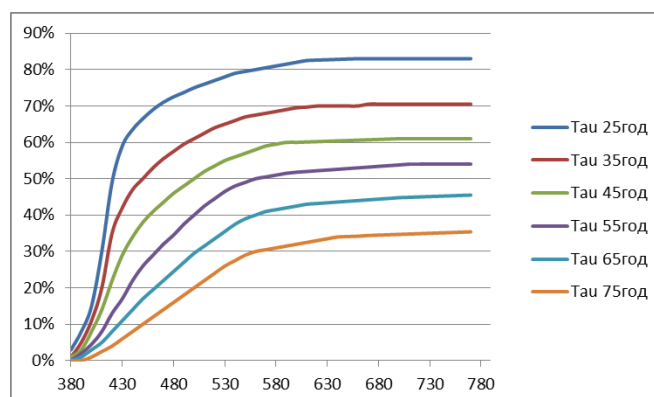
* Всички изчисления са направени за Lph=0,3 cd/m²

В таблиците от 2 до 6 са показани изчисленията S/P и S/P(отразен) и разликата в Lmes за отразените светлинни потоци на натриеви и LED осветители за дадените пътни настилки - образци от №1 до №7. Вижда се, че разликата в S/P е най-голяма за пътна настилка №5, като за LED3500K, 4000K, 5000K тя е почти еднаква -11%, и по-голяма при LED6500K приблизително -18%. Въпреки големите разлики в S/P, промените в стойностите на Lmes са минимални.

2.2. ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА S/P И ОТЧИТАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА СПЕКТРАЛНИЯ КОЕФИЦИЕНТ НА ПРОПУСКАНЕ НА ЛЕЩАТА НА ОКОТО

За да отчетем точно влиянието на ефективният поток, трябва да вземем под внимание, че отразения лъчист поток се пропуска селективно от лещата на окото и до ретината достига само една част от него. Спектралните криви на пропускане на лъчистия поток през лещата за различни възрастови групи са показани на фиг.3.

$$S / P(\text{Tau}) = \frac{1700 \sum_{i=1}^n \varphi(\lambda_i) \cdot V'(\lambda_i) \cdot \tau(\lambda_i) \Delta \lambda}{683 \sum_{i=1}^n \varphi(\lambda_i) \cdot V(\lambda_i) \cdot \tau(\lambda_i) \Delta \lambda} \dots(6)$$



Фиг.3. Спектрално разпределение на коефициента на пропускане на лещата на окото за различни възрастови групи 25-75 години [3]

В таблиците по-долу е показано как влияе коефициента на пропускане на лещата на окото на отношението S/P за НЛВН, LED3500K, LED4000K, LED5000K и LED6500K.

Табл. 7

*Разликата между S/P(V,V') и S/P (tau), и разликата в Lmes в проценти като за базисни са взети S/P и Lmes за LED 3500K, S/P(V,V')=1,4942 и Lmes=0,3306 cd/m²

<i>Tau, год.</i>	<i>Tau25год</i>	<i>Tau35год</i>	<i>Tau45год</i>	<i>Tau55год</i>	<i>Tau65год</i>	<i>Tau75год</i>
<i>S/P (tau)</i>	1,4079	1,3698	1,3232	1,2611	1,1909	1,1343
<i>ΔS/P, %</i>	-6%	-8%	-11%	-16%	-20%	-24%
<i>Lmes om S/P(tau)</i>	0,3255	0,3232	0,3203	0,3165	0,3121	0,3086
<i>ΔLmes, %</i>	-2%	-2%	-3%	-4%	-6%	-7%

Табл. 8

*Разликата между S/P(V,V') и S/P (tau), и разликата в Lmes в проценти като за базисни са взети S/P и Lmes за LED 4000K, S/P(V,V')=1,5229 и Lmes=0,3323 cd/m²

<i>Tau, год.</i>	<i>Tau25год</i>	<i>Tau35год</i>	<i>Tau45год</i>	<i>Tau55год</i>	<i>Tau65год</i>	<i>Tau75год</i>
<i>S/P (tau)</i>	1,4348	1,3948	1,3479	1,2842	1,2141	1,1581
<i>ΔS/P, %</i>	-6%	-8%	-11%	-16%	-20%	-24%
<i>Lmes om S/P(tau)</i>	0,3271	0,3247	0,3220	0,3179	0,3136	0,3096
<i>ΔLmes, %</i>	-2%	-2%	-3%	-4%	-6%	-7%

Табл. 9

*Разликата между S/P(V,V') и S/P (tau), и разликата в Lmes в проценти като за базисни са взети S/P и Lmes за LED 5000K, S/P(V,V')=1,9412 и Lmes=0,3563 cd/m²

<i>Tau, год.</i>	<i>Tau25год</i>	<i>Tau35год</i>	<i>Tau45год</i>	<i>Tau55год</i>	<i>Tau65год</i>	<i>Tau75год</i>
<i>S/P (tau)</i>	1,8150	1,7564	1,6873	1,5909	1,4935	1,4109
<i>ΔS/P, %</i>	-6%	-10%	-13%	-18%	-23%	-27%
<i>Lmes om S/P(tau)</i>	0,3492	0,3455	0,3419	0,3363	0,3306	0,3257
<i>ΔLmes, %</i>	-2%	-3%	-4%	-6%	-7%	-9%

Табл. 10

*Разликата между S/P(V,V') и S/P (tau), и разликата в Lmes в проценти като за базисни са взети S/P и Lmes за LED 6500K, S/P(V,V')=2,1791 и Lmes=0,3693 cd/m²

<i>Tau, год.</i>	<i>Tau25год</i>	<i>Tau35год</i>	<i>Tau45год</i>	<i>Tau55год</i>	<i>Tau65год</i>	<i>Tau75год</i>
<i>S/P (tau)</i>	1,8565	1,7930	1,7210	1,6185	1,5194	1,4358
<i>ΔS/P, %</i>	-15%	-18%	-21%	-26%	-30%	-34%
<i>Lmes om S/P(tau)</i>	0,3512	0,3480	0,3438	0,3379	0,3321	0,3271
<i>ΔLmes, %</i>	-5%	-6%	-7%	-8%	-10%	-11%

Табл. 11

*Разликата между S/P(V,V') и S/P (tau), и разликата в Lmes в проценти като за базисни са взети S/P и Lmes за НЛВН, S/P(V,V')=0,5517 и Lmes=0,2693 cd/m²

<i>Tau, год.</i>	<i>Tau25год</i>	<i>Tau35год</i>	<i>Tau45год</i>	<i>Tau55год</i>	<i>Tau65год</i>	<i>Tau75год</i>
<i>S/P (tau)</i>	0,5263	0,5153	0,5020	0,4844	0,4642	0,4474
<i>ΔS/P, %</i>	-5%	-7%	-9%	-12%	-16%	-19%
<i>Lmes om S/P(tau)</i>	0,2676	0,2668	0,2658	0,2645	0,2630	0,2618
<i>ΔLmes, %</i>	-1%	-1%	-1%	-2%	-2%	-3%

* Всички изчисления са направени за Lph=0,3 cd/m²

2.3. КАК ВЛИЯЕ РАЗЛИКА МЕЖДУ S/P И (S/P)' НА L(MES)?

В таблиците по-долу е показано как влияят на отношението S/P, отразения от настилката поток и коефициента на пропускане на лещата на окоето за 25 и 45 годишен наблюдател. Всички резултати са получени по (2).

Отношението S/P преизчислено на базата на отразения от настилката поток и коефициента на пропускане на лещата на окоето на 25 годишен наблюдател. Резултатите са показани в таблици 12-16.

Табл. 12

*Разликата между S/P(V,V') и S/P', и разликата в Lmes в проценти като за базисни са взети S/P и Lmes за LED 3500K, S/P(V,V')=1,4942 и Lmes=0,3306 cd/m²

Пътна настилка, №	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
(S/P)'	1,3424	1,3890	1,3236	1,4459	1,2435	1,3455	1,3789
ΔS/P, %	-10%	-7%	-11%	-3%	-17%	-10%	-8%
Lmes om (S/P)'	0,3215	0,3243	0,3204	0,3280	0,3154	0,3217	0,3237
ΔLmes, %	-3%	-2%	-3%	-1%	-5%	-3%	-2%

Табл. 13

*Разликата между S/P(V,V') и S/P', Lmes и Lmes' в проценти като за базисни са взети S/P и Lmes за LED 4000K, S/P(V,V')=1,5229 и Lmes=0,3323 cd/m²

Пътна настилка, №	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
(S/P)'	1,3603	1,4063	1,3479	1,4649	1,2695	1,3660	1,3982
ΔS/P, %	-11%	-8%	-11%	-4%	-17%	-10%	-8%
Lmes om (S/P)'	0,3249	0,3254	0,3219	0,3289	0,3170	0,3230	0,3249
ΔLmes, %	-2%	-2%	-3%	-1%	-5%	-3%	-2%

Табл. 14

*Разликата между S/P(V,V') и S/P', и разликата в Lmes в проценти като за базисни са взети S/P и Lmes за LED 5000K, S/P(V,V')=1,9412 и Lmes=0,3563 cd/m²

Пътна настилка, №	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
(S/P)'	1,7216	1,7849	1,7174	1,8581	1,6144	1,7312	1,7706
ΔS/P, %	-11%	-8%	-12%	-4%	-17%	-11%	-9%
Lmes om (S/P)'	0,3439	0,3475	0,3436	0,3512	0,3377	0,3444	0,3467
ΔLmes, %	-3%	-2%	-4%	-1%	-5%	-3%	-3%

Табл. 15

*Разликата между S/P(V,V') и S/P', и разликата в Lmes в проценти като за базисни са взети S/P и Lmes за LED 6500K, S/P(V,V')=2,1791 и Lmes=0,3693 cd/m²

Пътна настилка, №	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
(S/P)'	1,7588	1,8217	1,7706	1,8967	1,6697	1,7728	1,8095
ΔS/P, %	-19%	-16%	-19%	-13%	-23%	-19%	-17%
Lmes om (S/P)'	0,3455	0,3496	0,3467	0,3538	0,3409	0,3468	0,3489
ΔLmes, %	-6%	-5%	-6%	-4%	-8%	-6%	-6%

Табл. 16

*Разликата между $S/P(V, V')$ и S/P' , и разликата в L_{mes} в проценти като за базисни са взети S/P и L_{mes} за НЛВН, $S/P(V, V')=0,5517$ и $L_{mes}=0,2693\text{cd/m}^2$

Пътна настилка, №	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
$(S/P)'$	0,5068	0,5224	0,4941	0,5400	0,4682	0,5059	0,5178
$\Delta S/P, \%$	-8%	-5%	-10%	-2%	-15%	-8%	-6%
L_{mes} от $(S/P)'$	0,2661	0,2673	0,2652	0,2686	0,2633	0,2661	0,2670
$\Delta L_{mes}, \%$	-1%	-1%	-2%	0%	-2%	-1%	-1%

* Всички изчисления са направени за 25 годишен наблюдател и $L_{ph}=0,3\text{cd/m}^2$

Отношението S/P произчислено на базата на отразения от настилка поток и коефициента на пропускане на лещата на окоето на 45 годишен наблюдател (таблици 17-21).

Табл. 17

Разликата между $S/P(V, V')$ и S/P' , и разликата в L_{mes} в проценти като за базисни са взети S/P и L_{mes} за LED 3500K, $S/P(V, V')=1,4942$ и $L_{mes}=0,3306\text{cd/m}^2$

Пътна настилка, №	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
$(S/P)'$	1,2657	1,3081	1,2445	1,3599	1,1709	1,2670	1,2985
$\Delta S/P, \%$	-15%	-12%	-17%	-9%	-22%	-15%	-13%
L_{mes} от $(S/P)'$	0,3168	0,3194	0,3155	0,3226	0,3109	0,3169	0,3188
$\Delta L_{mes}, \%$	-4%	-3%	-5%	-2%	-6%	-4%	-4%

Табл. 18

Разликата между $S/P(V, V')$ и S/P' , и разликата в L_{mes} в проценти като за базисни са взети S/P и L_{mes} за LED 4000K, $S/P(V, V')=1,5229$ и $L_{mes}=0,3323\text{cd/m}^2$

Пътна настилка, №	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
$(S/P)'$	1,2824	1,3238	1,2666	1,3768	1,1948	1,2858	1,3162
$\Delta S/P, \%$	-16%	-13%	-17%	-10%	-22%	-16%	-14%
L_{mes} от $(S/P)'$	0,3178	0,3204	0,3168	0,3236	0,3124	0,3180	0,3199
$\Delta L_{mes}, \%$	-4%	-4%	-5%	-3%	-6%	-4%	-4%

Табл. 19

Разликата между $S/P(V, V')$ и S/P' , и разликата в L_{mes} в проценти като за базисни са взети S/P и L_{mes} за LED 5000K, $S/P(V, V')=1,9412$ и $L_{mes}=0,3563\text{cd/m}^2$

Пътна настилка, №	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
$(S/P)'$	1,6063	1,6631	1,5971	1,7289	1,5032	1,6127	1,6496
$\Delta S/P, \%$	-17%	-14%	-18%	-11%	-23%	-17%	-15%
L_{mes} от $(S/P)'$	0,3372	0,3406	0,3367	0,3443	0,3311	0,3376	0,3398
$\Delta L_{mes}, \%$	-5%	-4%	-6%	-3%	-7%	-5%	-5%

Табл. 20

Разликата между $S/P(V, V')$ и S/P' , и разликата в L_{mes} в проценти като за базисни са взети S/P и L_{mes} за LED 6500K, $S/P(V, V')=2,1791$ и $L_{mes}=0,3693\text{cd/m}^2$

Пътна настилка, №	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
$(S/P)'$	1,6372	1,6929	1,6416	1,7594	1,5509	1,6472	1,6815
$\Delta S/P, \%$	-25%	-22%	-25%	-19%	-29%	-24%	-23%
L_{mes} от $(S/P)'$	0,3390	0,3422	0,3393	0,3455	0,3339	0,3398	0,3416
$\Delta L_{mes}, \%$	-8%	-7%	-8%	-6%	-10%	-8%	-7%

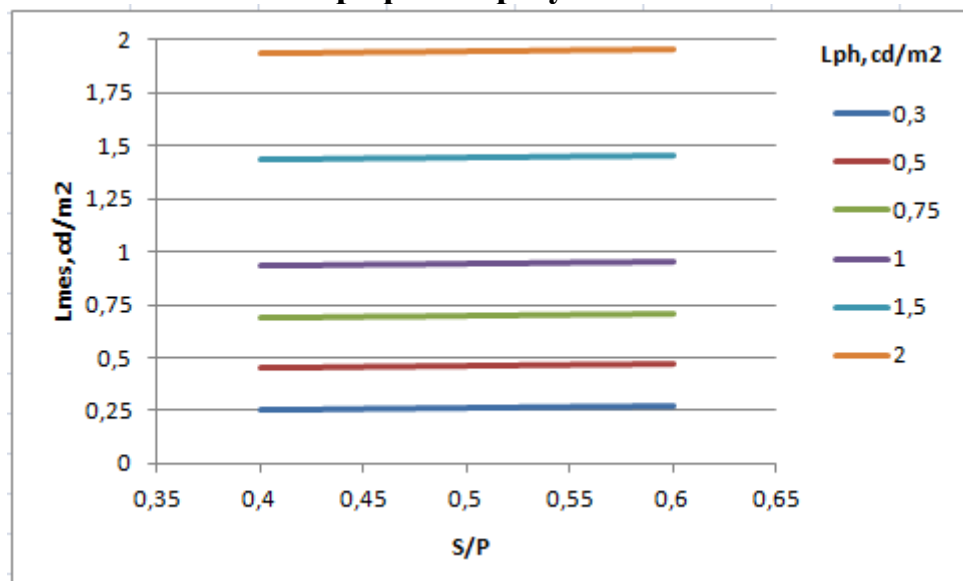
Табл. 21

Разликата между $S/P(V, V')$ и S/P' , и разликата в L_{mes} в проценти като за базисни са взети S/P и L_{mes} за НЛВН, $S/P(V, V')=0,5517$ и $L_{mes}=0,2693 \text{ cd/m}^2$

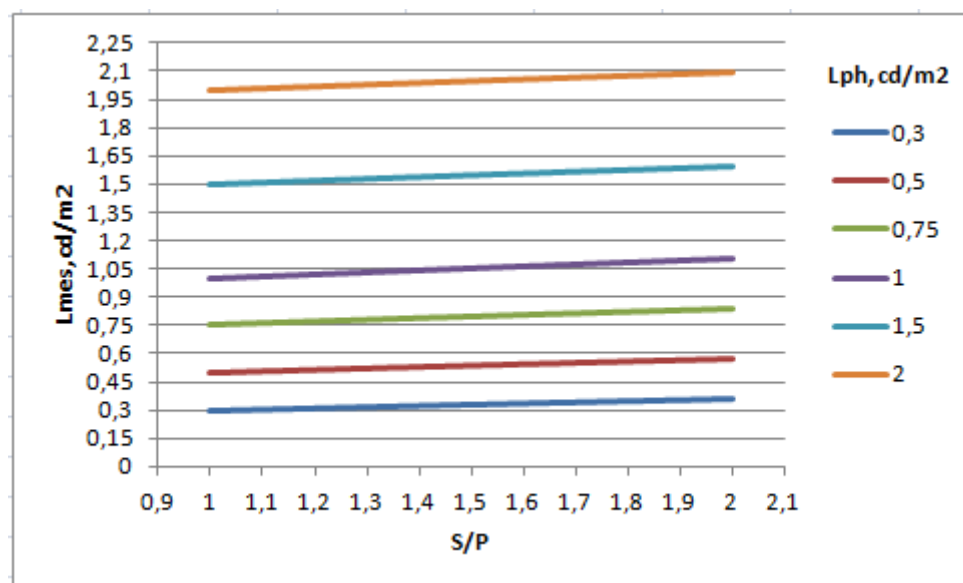
Пътна настилка, №	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
$(S/P)'$	0,4850	0,4988	0,4723	0,5146	0,4487	0,4839	0,4947
$\Delta S/P, \%$	-12%	-10%	-14%	-7%	-19%	-12%	-10%
L_{mes} от $(S/P)'$	0,2646	0,2656	0,2636	0,2667	0,2619	0,2645	0,2653
$\Delta L_{mes}, \%$	-2%	-1%	-2%	-1%	-3%	-2%	-1%

* Всички изчисления са направени за 45 годишен наблюдател и $L_{ph}=0,3 \text{ cd/m}^2$

Графични резултати:



Фиг.4. Мезопичната яркост $L_{mes}(\lambda)$ в зависимост от промяната на (S/P) за светлинен източник с НЛВН.



Фиг.5. Мезопичната яркост $L_{mes}(\lambda)$ в зависимост от промяната на (S/P) за светлинни източници LED 3500 K – 6500 K.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на направеното сравнение между S/P и (S/P)' се установи:

- използваните асфалтови настилки отразяват лъчистия поток почти неселективно и влияят много малко на ефективният поток отразен от тях;
- от получените резултати се вижда, че използваните LED-осветители създават по-добро зрително усещане от НЛВН;
- зрителното усещане е различно за всяка възрастова група, използването на източници с високата цветна температура не е подходящо за региони със застаряващо население;
- зрителното усещане получено от отношението S/P, преизчислено на базата на отразения от настилките поток и коефициента на пропускане на лещата на окото, трябва да се отчете при оценяване на ефективността на светлинните източници в мезопичната област.

ЛИТЕРАТУРА

[1] CIE 191:2010 "Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance"

[2] Костов, Василев, Караро. „Оценка на ефективността на спектралния състав на светлоизточниците в уличното осветление“. BullLight/ България Светлина 2010, 10-12 Юни, стр. 140-150.

[3] Patricia L. Turner, M.D., Martin A. Mainster, Ph.D., M.D Br J Ophthalmol "Circadian Photoreception: Ageing and the Eye's Important Role in Systemic Health"

Автор: Димитър Павлов, асистент маг. инж., катедра „Обща електротехника“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: dpavlov@tu-sofia.bg

Постъпила на 15. 12. 2014 г.

Рецензент: гл. ас. д-р инж. Камелия Николова

ПУСКОВ ПРОЦЕС НА ЕДНОФАЗЕН СИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ С ПОСТОЯННИ МАГНИТИ В РОТОРА

Ганчо Божилов, Михо Михов

Резюме: В настоящата работа се изследват условията за пускане на еднофазен синхронен двигател с постоянен магнит в ротора. За целта числено е решено диференциалното уравнение на движението на ротора при отчитане характера на изменение на електромагнитния момент. Изследван е пусковият процес в зависимост от началната фаза на тока в котвената намотка и са определени условията за успешно развъртане на двигателя.

Ключови думи: Еднофазен синхронен двигател, пусков процес, променлив пусков момент

STARTING PROCESS OF SINGLE PHASE SYNCHRONOUS MOTOR WITH PERMANENT MAGNETS IN THE ROTOR

Gantcho Bojilov, Miho Mihov

Abstract: In the current paper are examined the release conditions for single-phased synchronous motor with permanent rotor magnets. For this purpose is developed a numerical differential equation of rotor's motion taking into account the nature of the amendment of the electromagnetic moment. It is studied the starting process in condition of the current's initial phase in the armature winding in combination with setting the conditions for successful acceleration of the motor.

Keywords: Single phase synchronous motor, starting process, pulse starting torque

1. ВЪВЕДЕНИЕ

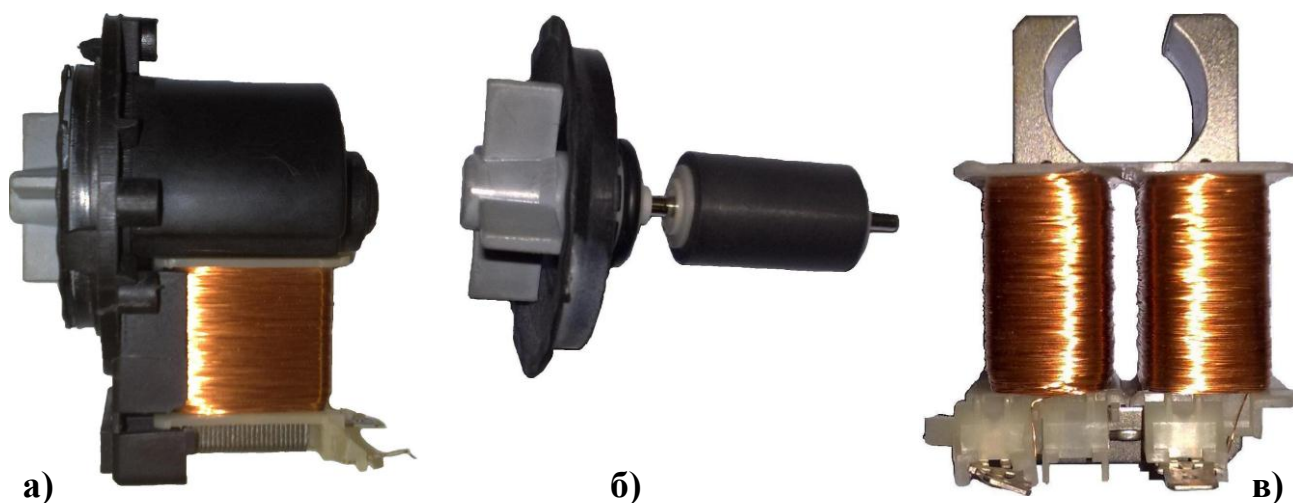
Разглежданият двигател принадлежи към класа на електродвигателите за домакински уреди – помпи за перални, сокоизстисквачки и др. [1]. Електродвигателят е еднофазен - в съответствие с вида на напрежението в бита, синхронен, с концентрирана статорна намотка и възбуждане от цилиндричен постоянен магнит в ротора. Предимство на тези двигатели е несложната и здрава конструкция и определената от това лека технология на изработването. Известни са и други предимства на синхронните двигатели и в частност на тези с постоянни магнити – твърда механическа характеристика, по-малка консумация и по-добър фактор на мощността в сравнение с другите използвани досега електродвигатели със същото предназначение - например асинхронни двигатели с екранирани полюси. Известен е, обаче, и един експлоатационен проблем на синхронните машини изобщо – пускането и влизането им в синхронизъм, дължащ се на отсъствието на пусков момент при тези машини в чистия им вид.

Този проблем в случая е отстранен с въвеждане на неравномерна въздушна междина - с „два диаметра”, както е показано в [2], така че в състояние на покой (изключен от мрежата двигател) магнитната ос на роторната полюсна система да бъде отместена от тази на възбудената статорна система.

В настоящата разработка е предложен един подход за изследване на пусковия процес и определяне на условията за развъртане на ротора на този тип машини.

2. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Обект на изследването е електродвигател SMP-25/PM, описан и изследван в [3,4] - фиг.1, предназначен за задвижване на помпа за отработилата вода на битова перална машина.



Фиг.1. Еднофазен синхронен двигател с постоянен магнит в ротора – **а)** външен вид на двигателя, **б)** възел-ротор с преден лагерен щит и работно колело, **в)** възел-статор с магнитопровод и намотка (котвена)

Основни технически данни на двигателя са: $P_n = 10W$, $U_n = 220V$, $I_n = 0,25A$, $n_n = 3000 \text{ min}^{-1}$ ($p = 1$). Характеристиките на постоянния магнит в ротора са: $B_r = 0,354T$, $H_c = 240 \text{ kA/m}$ - бариер ферит от типа на предлаганите от [5].

Конструктивни особености на двигателя, имащи отношение към темата на настоящата разработка са :

- Работното колело е с радиални лопатки - форма, която създава еднакви функционални възможности на помпата и оттам – еднакво натоварване на двигателя, независимо от посоката на въртене. Тази особеност е наложена от обстоятелството, че посоката на завъртане на еднофазния двигател зависи от ориентацията на роторния постоянен магнит спрямо статорната система и „произволният” поляритет на тока в статорната (котвената) намотка в момента на включване;

- Закрепването на работното колело към вала му осигурява свободен ход в границите на ъгъл 180° - в случая половин оборот на ротора на двигателя ($p = 1$) . Това конструктивно решение позволява при изключване роторът да спре и независимо от работния орган да се ориентира в неравномерната въздушна междина като се подготви за следващото пускане. При включване на двигателя ро-

торът се развърта ненатоварен в границите на половин оборот по време на което влиза в синхронизъм и след това поема товара на помпата .

3. ЗАДАЧА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

С помощта на математически модел - диференциалното уравнение на движението да се изследват условията за успешно пускане на двигателя.

Пускането се смята за успешно, ако при завъртането на ротора на не повече от половин оборот той достигне синхронната скорост Ω_1 .

Условия и допускания, при които да се направи изследването:

- поради голямото активно съпротивление на статорната намотка електромагнитната времеконстанта на процеса е много малка и следователно формата на тока по време на развъртането е близка до синусоидата – такава е зададена в модела на FEMM;
- на този етап собствените механични загуби се пренебрегват.

4. МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ НА ПУСКОВИЯ ПРОЦЕС НА ДВИГАТЕЛЯ

В основата на модела е т.н. теорема за кинетичния момент при ротационно движение на твърдо тяло около неподвижна ос z .

$$J_z \ddot{\varphi} = \sum M_{iz} \quad (1)$$

Отнесено към електрическата машина това уравнение от механиката добива вида [6] :

$$\pm M_\delta = \pm M_{BH} + M_0 + J_p \frac{d\Omega}{dt} \quad (2)$$

където:

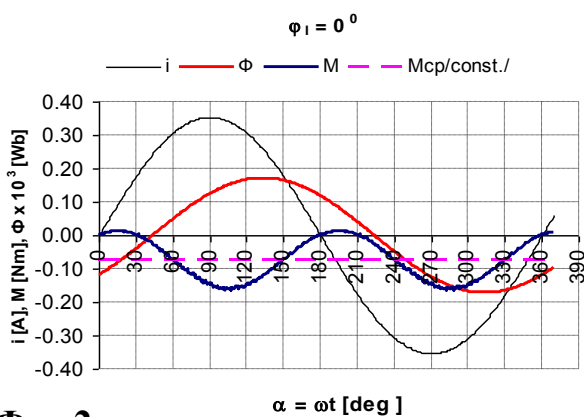
- M_δ - електромагнитен момент на електрическата машина, може да бъде двигателен или генераторен;
- M_{BH} - външен момент, който в двигателен режим има съпротивителен характер, а в генераторен - задвижващ;
- M_0 - момент свързан с механични загуби - във всички случаи има съпротивителен характер (в съответствие с направените допускания $M_0 = 0$);
- J_p - инерционен момент на ротора и всички въртящи се части свързани с него приведен към оста на въртене;
- $\Omega = \frac{d\alpha}{dt}$ - ъглова скорост на въртене на ротора.

Забележка: в разработката е прието ъгловата координата на положението на ротора да се отбелязва с α .

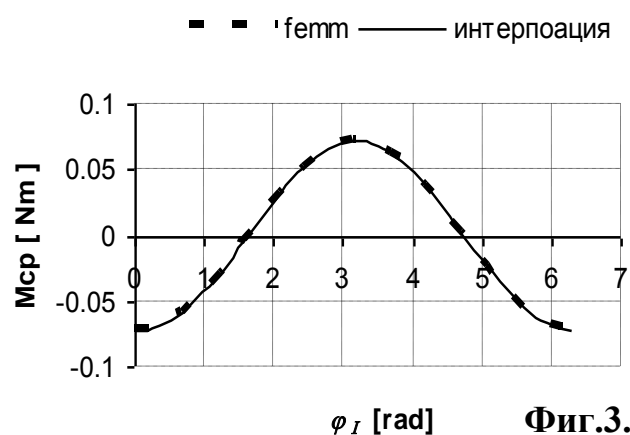
Знаците \pm в (2) зависят от режима на работа на електрическата машина и са съответно "+" - за двигателен режим и "-" за генераторен. Важно е да се отбележи, че те се отнасят за чисто „механичното” уравнение. В случай, че то се ре-

шава съвместно с „електрически” уравнения, в които електромагнитните моменти на електрическите машини се получават посредством електрическите параметри, в т.ч. s, θ характеризиращи съответния режим на машината, трябва да се направи съответната интерпретация.

В [4] е направено числено изследване за електромагнитния момент в границите на едно завъртане на ротора и един период на изменение на тока, като роторът се върти синхронно, т.е. едновременно се изменя положението на постоянните магнити спрямо статора и стойността на тока в статорната намотка $i / \alpha = \omega t /$. Пак там [4] е показан характера на изменение на електромагнитния момент в границите на един период на тока - фиг.2, както и изменението на средната му стойност в границите на един период, в зависимост от фазата на тока φ_I в момента на включването - фиг.3.



Фиг.2.



Фиг.3.

Полученият характер на изменение на момента (фиг.2) може да се обясни с теорията на еднофазните пулсиращи полета [7]. Този двигател е чисто еднофазен с пулсиращо статорно поле, което съгласно известната теорема може да се разложи на две кръгови полета, въртящи се със синхронна скорост в противоположни посоки. В такъв случай роторът се синхронизира с едното и образува електромагнитен момент с постоянна във времето големина (пунктираната линия на фиг.2), а с другото – момент, пулсиращ с двойната мрежова честота около тази стойност, средната стойност на който е равна на нула – също показан на фигурата. Очевидно е, че средната стойност на електромагнитния момент се определя от съотношенията на площите на областите с различен знак в площта заградена от кривата $M_s = f(\alpha = \omega t)$.

За нуждите на настоящата разработка са направени допълнителни изследвания за електромагнитния момент като на началната фаза на тока се задават стойности $0 \leq \varphi_I [\text{rad}] \leq 2\pi$ със стъпка $\Delta\varphi_I = 0.1745 [\text{rad}] \cong 10^\circ$. За всяка стойност на φ_I токът се изменя по закона $i = I_{MAX} \sin(\omega t - \varphi_I)$, роторът се „върти” синхронно с него на ъгъл $\alpha = \omega t$ и се отчита електромагнитния момент при всяко положение на ротора в интервала $0 \leq \alpha [\text{rad}] \leq 2\pi$, като $\Delta\alpha = 0.01745 [\text{rad}] \cong 1^\circ$. Токът, при който са направени изследванията е $I_{eff} = 0.25 \text{ A} \Leftrightarrow I_{max} = 0.354 \text{ A}$.

Характерът на всички получени криви за момента при $0 \leq \varphi_I [\text{rad}] \leq 2\pi$ са от типа на тази от фиг.1. Целесъобразно е за нуждите на математическия модел те да

бъдат интерполирани. Общият им характер на изменение обуславя и еднакъв общ вид на уравнението на интерполационната крива и то е :

$$M_{\delta}(t, \varphi_I) = y_0(\varphi_I) + a(\varphi_I) \sin[2\omega t + c(\varphi_I)] \quad (3)$$

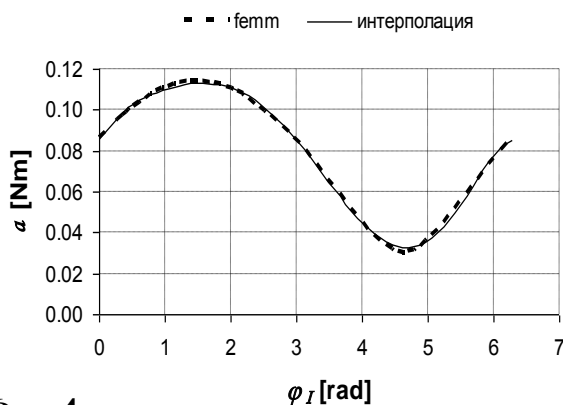
Определени са интерполационни зависимости за коефициентите y_0, a, c в (3) в зависимост от φ_I , както следва:

- за средната стойност на момента $y_0 \equiv M_{CP}$, показана на фиг.3:

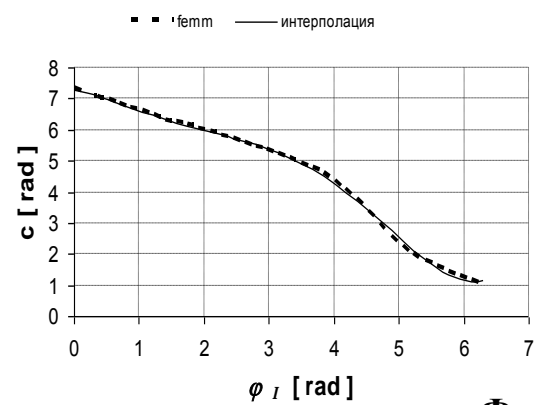
$$y_0(\varphi_I) \equiv M_{CP}(\varphi_I) = 0.0719995 \sin(2\varphi_I + 4.65181) \quad (4)$$

- за коефициента a (фиг.4)

$$a(\varphi_I) = -0.00011312\varphi_I^6 + 0.00186006\varphi_I^5 - 0.01063417\varphi_I^4 + 0.02700304\varphi_I^3 - 0.04274813\varphi_I^2 + 0.04901922\varphi_I + 0.08568021 \quad (5)$$



Фиг.4.



Фиг.5.

- за коефициента c (фиг.5):

$$c(\varphi_I) = 0.006731\varphi_I^5 - 0.086749\varphi_I^4 + 0.346514\varphi_I^3 - 0.507142\varphi_I^2 - 0.442034\varphi_I + 7.299526 \quad (6)$$

В съответствие с уравнение (2), направените допускания и отчитайки, че се разглежда развъртането на двигател на празен ход / $M_{BH} = 0$ / в границите на половин оборот, диференциалното уравнение на движението добива вида:

$$\frac{\partial^2 \alpha}{\partial t^2} - \frac{1}{J_p} M(t, \varphi_I) = 0 \quad (7)$$

Трябва да се отчете обаче и обстоятелството, че когато в процеса на синхронизацията ротора надмине синхронната скорост, моментът става генераторен, спиращ и „обръща“ знака си. Индикацията за режима на работа по време на развъртане, може да се отрази в уравнение (7) по следния начин:

$$M(t, \varphi_I) = k M_{\delta} = k \{ y_0(\varphi_I) + a(\varphi_I) \sin[2\omega t + c(\varphi_I)] \} \quad (8)$$

като, в зависимост (8) коефициентът k добива следните стойности в зависимост от съотношението между скоростта на бягащото поле Ω_1 и скоростта на ротора Ω ,:

$$\begin{aligned} \Omega_1 - \Omega > 0 &\rightarrow k = 1 \\ \Omega_1 - \Omega = 0 &\rightarrow k = 0 \\ \Omega_1 - \Omega < 0 &\rightarrow k = -1 \end{aligned} \quad (9)$$

Забележка: за изпълнение на набора от горните изисквания повечето изчислителни среди предлагат функция $\text{sign}(n)$.

Така в крайна сметка уравнението на движението на ротора (математическият модел) добива вида:

$$\frac{\partial^2 \alpha}{\partial t^2} - \frac{1}{J_p} k \{ y_0(\varphi_I) + a(\varphi_I) \sin[2\omega t + c(\varphi_I)] \} = 0 \quad (10)$$

Горното уравнение се решава числено с възможностите, които предлагат изчислителни среди като Mathcad, Matlab, Matlab-Simulink.

Някои параметри на численото решение: времеви интервал – 0.1s, брой точки в интервала - $n = 5000 \rightarrow \Delta t = 0.00002$ s.

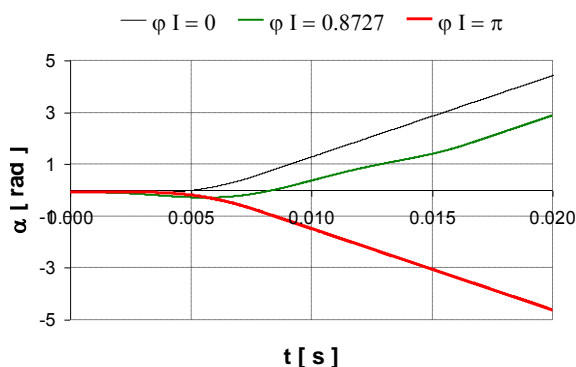
5. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНИЯТА

За да се реши поставената задача – да се определят условията за успешно развъртане на ротора (влизане в синхронизъм) е решено уравнение (10) за стойности на фазата на тока в момента на включването $0 \leq \varphi_I [\text{rad}] \leq \pi$. Границите на интервала са определени от физическите съображения за симетрия илюстрирани на фиг.3. Фигурите по-долу показват резултатите от решението на уравнението относно ъгъла на завъртане на ротора $\alpha = f(t)$ - фиг.6, изменението на ъгловата скорост $\Omega = d\alpha/dt = f(t)$ - фиг.7, изменението на момента (фиг.8) и фазовите траектории $\Omega = f(\alpha)$ (фиг.9) при три конкретни и показателни стойности на ъгъла φ_I .

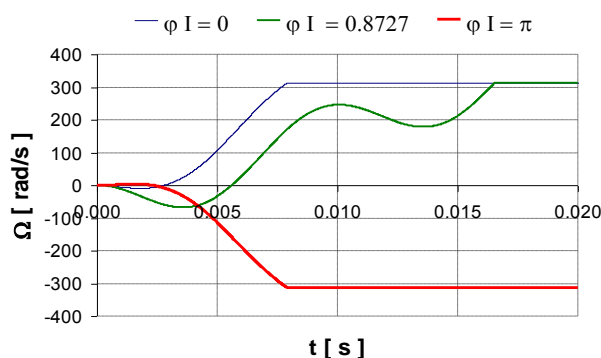
За да се получи отговор на поставената задача се обобщават горните данни за всички стойности на ъгъла на фазата на тока $0 \leq \varphi_I [\text{rad}] \leq \pi$.

Така, на основата на резултатите от типа на показаните на фиг.7 и/или фиг.8, е определено времето t_s , за което роторът достига до синхронна скорост в зависимост от това каква е била фазата на тока φ_I в момента на включването на двигателя - фиг.10.

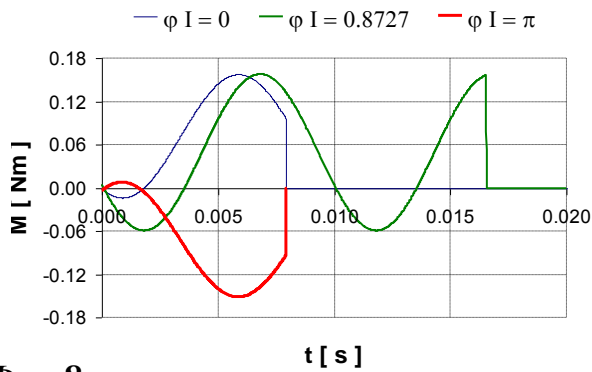
Пред вид на това, че за стойности на φ_I около $\frac{\pi}{2}$ средната стойност на въртящия момент е недостатъчно голяма, в т.ч. и „нула“ (фиг.3), синхронизация не настъпва. Формално времето в този интервал $t_s \rightarrow \infty$ (фиг.10).



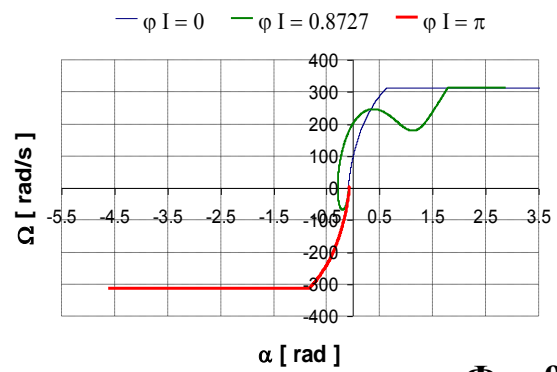
Фиг.6.



Фиг.7.

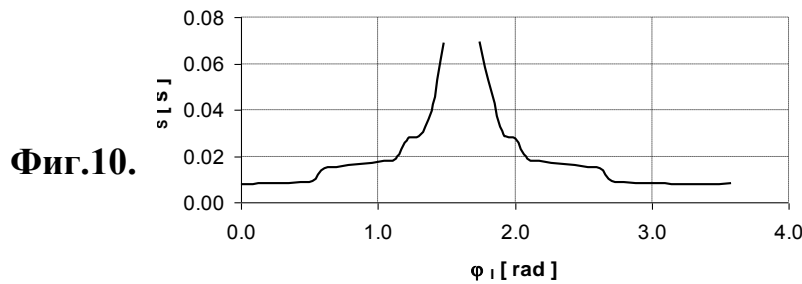


Фиг.8.

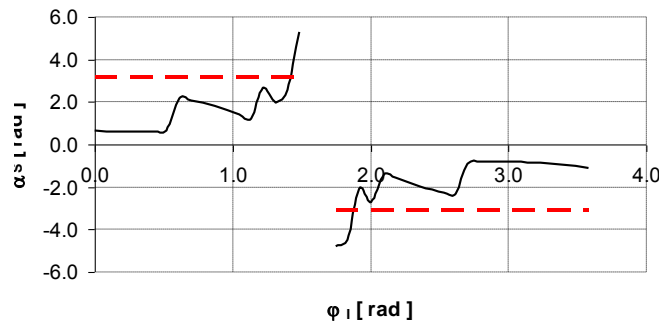


Фиг.9.

В останалите части на разглеждания интервал функцията практически е симетрична спрямо вертикална ос .



Фиг.10.



Фиг.11.

Условията за успешно пускане на двигателя при конкретните конструктивни параметри: размери на активната част, характеристики на постоянните магнити, инерционен момент на ротора са представени на фиг.11. Информацията за фиг.11 е получена от резултатите от изследванията, част от които са илюстрирани на фиг.9. На фиг.11 е показана зависимостта между стойността на ъгъла на завъртане на ненатоварения ротор α_s , при която той достига синхронната скорост Ω_1 и стойността на фазовия ъгъл на тока φ_1 , при която това е станало. Както беше посочено в началото, успешното пускане се осъществява тогава, когато ъгъла на завъртане е $|\alpha_s| \leq \pi$, колкото е свободният ход на ротора спрямо работния орган. Тази гранична стойност е посочена с пунктирна линия на фиг.11. Пак оттам се вижда, че интервала от стойности на фазовия ъгъл на тока, в който няма да се получи успешен пусков процес е $1.396 < \varphi_1 [rad] < 1.920$.

Общо за фиг.6, фиг.7, фиг.8, фиг.9 и фиг.11 е това, че тъй като при $\varphi_1 > \frac{\pi}{2}$, средният момент променя знака си, то ъгъла на развъртане α и скоростта Ω ще променят знака си, което се илюстрира от клоната на кривите под абсцисната ос.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработен е числен модел на „механичното“ уравнение на пусковия процес на еднофазен синхронен двигател с постоянни магнити в ротора.

Данните за модела са получени от предварителни електромагнитни изчисления на машината в средата на FEMM, за които има разработен алгоритъм и изчислителна програма.

Показано е условието за успешно влизане в синхронизъм на еднофазния синхронен двигател.

Разработеният и автоматизиран във висока степен алгоритъм ще се използва при изследвания на влиянието на конструктивни параметри на машината, като инерционен момент на ротора, характеристики на магнитите, свободен ход на вала и т.н. върху режимите на работа, както и при съвместно решение на уравненията на напрежението и движението на такъв вид машини.

ЛИТЕРАТУРА

[1] <http://www.scribd.com/doc/69775579/ELEKTROELEMENT-vp>

[2] Патент No 4714851/ 22 Дек 1987. “Single-phase synchronous motor with permanent magnets in the rotor”.

[3] Petkovska, L., G. Cvetkovski. Study on Electromagnetic Field of a Single-Phase PM Synchronous Motor, The International Conference on Electrical Engineering , July 6-10, 2008, Okinawa, Japan 2008.

[4] Михов, М, Г. Божилов, А. Иванов. Електромагнитен момент на еднофазен синхронен двигател с постоянни магнити в ротора, Годишник на ТУ – София, т. 63, 2013.

[5] <http://www.pramiz.com/frambgp.html>

[6] Божилов, Г. Преходни процеси и обобщена теория на електрическите машини, ТУ-С

[7] Ангелов, А., Д. Димитров. Електрически машини, С., Техника, 1976, 1988. София, 2012.

Автори: Ганчо Й. Божилов, проф. д.т.н., катедра „Електрически машини“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: gjboj@tu-sofia.bg ; Михо П. Михов, доц. д-р, катедра „Електрически машини“, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: mpmi@tu-sofia.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент доц. д-р инж. Георги Тодоров

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА РЕАКТАНСИТЕ НА СИНХРОННИ ДВИГАТЕЛИ С ПОСТОЯННИ МАГНИТИ С РАЗЛИЧНА КОНФИГУРАЦИЯ НА РОТОРА

Георги Тодоров, Божидар Стоев

Резюме: Разнообразието в конструкциите на синхронните двигатели с възбуждане от постоянни магнити определя големи разлики в параметрите и характеристиките им. В работата е анализирано определянето на синхронните индуктивни съпротивления при три различни конфигурации на ротора. Показано е, че коректни стойности на съответните съпротивления се получават от картините на реалното разпределение на магнитното поле на надлъжната и напречната реакции на котвата, получено чрез прилагане на метода с крайни елементи, докато аналитичните зависимости не отчитат достатъчно точно спецификата на конструкцията и не са приложими за всички конфигурации.

Ключови думи: синхронни двигатели с постоянни магнити, синхронни индуктивни съпротивления, насищане.

DETERMINATION OF REACTANCES OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTORS WITH DIFFERENT ROTOR CONFIGURATION

George Todorov, Bozhidar Stoev

Abstract: The wide variety of rotor configurations of the permanent magnet synchronous motors (PMSM) design brings about different parameters and characteristics. An analysis of synchronous reactances of PMSM with three different rotor configurations is described in the paper. It is shown that the correct values of d-axis and q-axis reactances could be determine from the distribution of the armature reaction magnetic field, obtained by finite element analysis method. The analytical approach does not account in details the design specifics and couldn't be used for all rotor configurations.

Key words: permanent magnet synchronous motors, synchronous reactances, saturation.

1. УВОД

През последните години всички въпроси, свързани с ефективното използване на електроенергията са основен приоритет при разработването и експлоатацията на електродвигателите. Регламентирани са различни стандарти, които дефинират препоръчителни стойности на коефициента на полезно действие на индукционните двигатели, които до момента са най-разпространените и използвани въртящи се електрически машини. Повишените изисквания към ефективността им са изпълними, но са свързани с увеличаване на размерите на машините и използване

зването на по-качествени, по-скъпи материали, което води до значително оскъпяване. Синхронните двигатели с възбуждане от постоянни магнити (СДПМ) са една алтернатива, която удовлетворява изискванията за висока ефективност, съчетана с ред други предимства. Основните характеристики, с които те превъзхождат индукционните електродвигатели, са висок коефициент на полезно действие и фактор на мощност, синхронна скорост, възможност за широк диапазон на прецизно управление, по-голяма изходяща мощност за единица обем. С развитието на технологиите и материалите за изработване на редкоземните постоянни магнити, работните температури при които се запазват термичната си устойчивост се повишиха и достигат до 180° . Паралелно с подобряването на магнитните характеристики, цените на магнитите в последните години се понижиха значително.

Синхронните машини с възбуждане от постоянни магнити имат някои съществени различия от класическите синхронни машини, свързани с конструкцията на индуктора - нямат възможност за регулиране на възбуждането, въздушната междина е значителни по-малка, разнообразие в конструктивното изпълнение на ротора. Тези особености определят разлики в стойностите на параметрите и характеристиките и необходимост всяка конструкция да бъде анализирана индивидуално.

Синхронните машини с електромагнитно възбуждане обикновено са със средни или големи мощности и размери и сравнително еднотипна конструкция. Това дава възможност параметрите и характеристиките им да бъдат определяни достатъчно точно с аналитични методи, използващи коефициентите на формата на полето на възбуждане и на реакцията на котвата. При синхронните двигатели с възбуждане от постоянни магнити разнообразието в конструкцията на ротора е голямо, магнитните вериги по двете оси са със сложна структура и разпределението на магнитното поле силно зависи от съотношенията между геометричните размери и от насищането в отделните участъци.

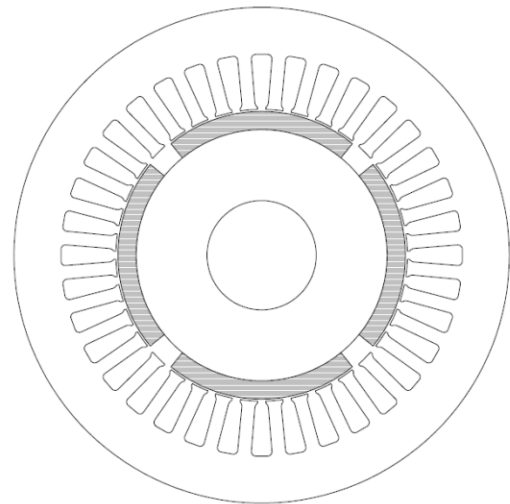
В настоящата работа са разгледани методи за определяне на синхронните реактанси на синхронни електродвигатели с възбуждане от постоянни магнити при три различни конфигурации на ротора, като разглежданията са направени при установен режим на работа на машината.

2. КОНСТРУКЦИИ НА АНАЛИЗИРАНИТЕ ДВИГАТЕЛИ

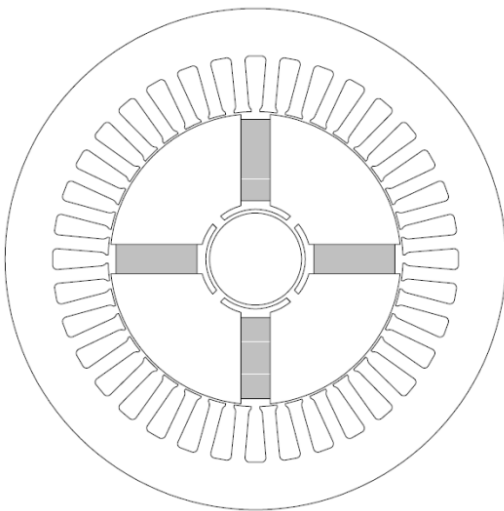
Обект на анализ са три конструкции на синхронни двигатели с възбуждане от постоянни магнити. Всички те имат мощност $P_2 = 1.5 \text{ kW}$, брой на полюсите $2p = 4$, захранващо напрежение $U_{1л} = 380 \text{ V}$, статорен ток $I_1 = 2.9 \text{ A}$ и свързване на статорната намотка в звезда.

Напречната геометрия на статора е еднаква, а разглежданите конструкции на ротора са: с повърхностни магнити - фиг.1, с радиални вкопани магнити - фиг.2 и с тангенциални вкопани магнити - фиг.3. Възбуждането е с редкоземни постоянни магнити $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ със следните данни : $B_r = 1,05 \text{ T}$ и $H_c = 764 \text{ kA/m}$.

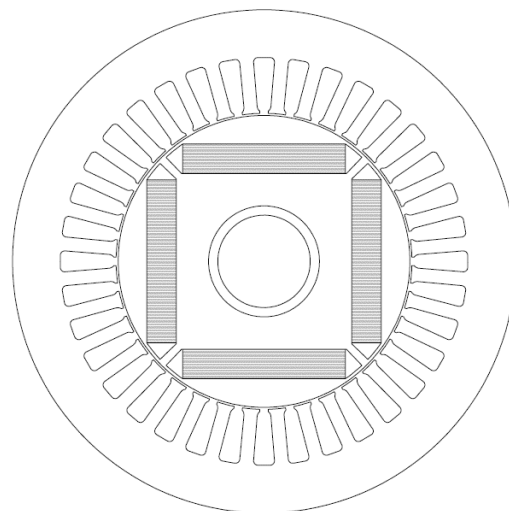
Разликите в конфигурацията на магнитната верига определят различни синхронни индуктивности по двете оси на машината. Точността на определянето им оказва съществено влияние върху изчисляването на ъгловата характеристика и определянето на електромагнитния момент, върху оразмеряването на машината при проектирането и управлението ѝ в процеса на експлоатация. Изчислителните методи за определяне на синхронните реактанси използват аналитични зависимости, познати от теорията на класическите синхронни машини или разпределението на полето на реакцията на котвата, получено чрез метода с крайни елементи.



Фиг.1. Повърхностни магнити.



Фиг.2. Радиални вкопани магнити.



Фиг.3. Тангенциални вкопани магнити.

3. АНАЛИТИЧНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СИНХРОННИТЕ РЕАКТАНСИ

Според класическата теория на синхронните машини, синхронните индуктивни съпротивления се определят като сума от индуктивното съпротивление на реакцията на котвата по съответната ос (X_{ad} и X_{aq}) и индуктивното съпротивление на разсейване на котвената намотка ($X_{\sigma 1}$):

$$X_d = X_{ad} + X_{\sigma 1} \quad (1)$$

$$X_q = X_{aq} + X_{\sigma 1} \quad (2)$$

като $X_{\sigma 1}$ се определя от намотъчните данни и геометричните размери на статора. Аналитичното определяне на индуктивните съпротивления на реакцията на котвата се прави от разпределението на нормалната компонента на полето на реакцията на котвата по съответната ос. Приема се, че това разпределение е периодична функция създадена от синусоидално магнитодвижещо напрежение.

Пренебрегват се пространствените хармоници, породени от наличието на канали в статора.

Индуктивните съпротивления на реакцията на котвата се изчисляват с помощта на коефициентите на формата на полето на реакцията на котвата k_{fd} и k_{fq} по зависимостите [2, 4, 5]:

$$x_{ad} = 4m\mu_0 f_1 \frac{(w_1 k_{w1})^2}{\pi p} \frac{\tau \cdot l_1}{\delta'_d} k_{fd} \quad (3)$$

$$x_{aq} = 4m\mu_0 f_1 \frac{(w_1 k_{w1})^2}{\pi p} \frac{\tau \cdot l_1}{\delta'_q} k_{fq} \quad (4)$$

Коефициентите на формата на полето на реакцията на котвата k_{fd} и k_{fq} за разглежданите конфигурации се определят по зависимостите показани в табл.1 [2], като коефициента на полюсно покритие α_i зависи от конфигурацията и размерите на използваните постоянни магнити.

Таблица 1

k_f	k_{fd}	k_{fq}
Конфигурация на ротора		
Повърхностни магнити	$k_{fd} = 1$	$k_{fq} = 1$
Радиални и тангенциални вкопани магнити	$k_{fd} = \frac{4}{\pi} \alpha_i \frac{1}{1 - \alpha_i^2} \cos 0.5\alpha_i\pi$	$k_{fq} = \frac{1}{\pi} (\alpha_i\pi - \sin \alpha_i\pi)$

При определянето на еквивалентната въздушна междина δ' по съответната ос трябва да се отчете обстоятелството, че постоянните магнити в ротора са среда с магнитна проницаемост приблизителна еднаква с тази на въздушната междина и влиянието им върху стойността на индуктивните съпротивления е значително. Изразите за определянето на еквивалентната въздушна междина за разглежданите конфигурации са дадени в табл.2. [2]

Таблица 2

δ'	δ'_d	δ'_q
Конфигурация на ротора		
Повърхностни магнити	$\delta'_d = \delta \cdot k_\delta + h_M / \mu_r(\text{PM})$	$\delta'_q = \delta \cdot k_\delta + h_M$
Радиални и тангенциални вкопани магнити	$\delta'_d = \delta \cdot k_\delta + h_M / \mu_r(\text{PM})$	$\delta'_q = \delta \cdot k_\delta$

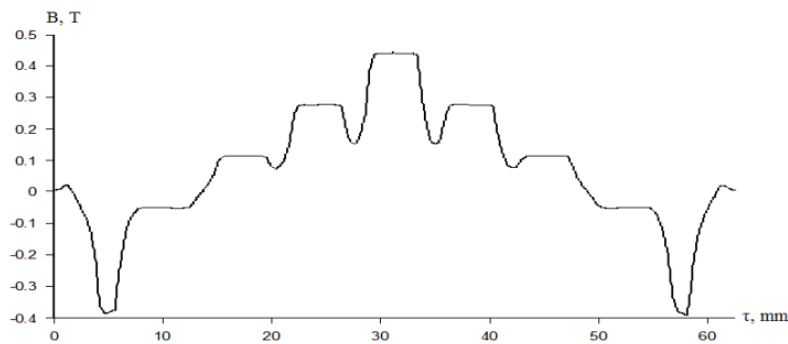
Височината на постоянния магнит като размер е значително по-голяма от механичната въздушна междина и именно тя определя различните магнитни проводимости по съответните оси на реакцията на тока на котвата. В зависимост от конструкцията на ротора височината на магнита фигурира в определянето на еквивалентната междина като механичен размер или като междина запълнена с материал, който има магнитната проницаемост на материала на постоянния магнит.

За разглежданите конфигурации резултатите от изчисленията са представени в табл.3. Резултатите са получени при допускането, че магнитната система е наситена и че повърхността на статора е хомогенна с еднаква магнитна проводимост по цялата си обиколка. За да се определят наситените стойности на X_{ad} и X_{aq} , приведената въздушна междина трябва да се умножи с коефициента на насищане по съответната ос.

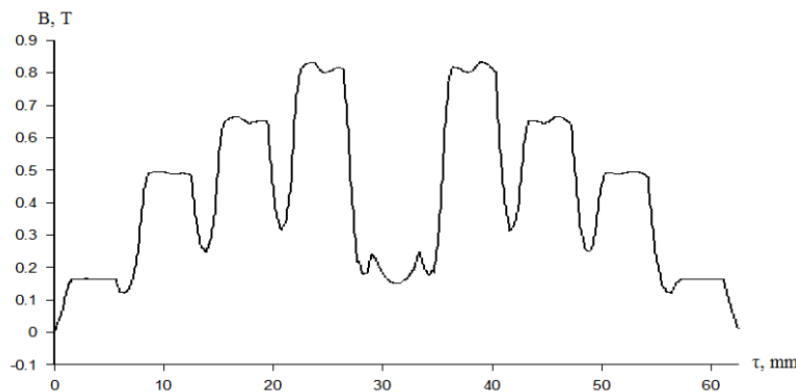
Таблица 3

Конфигурация на ротора	k_{fd}	k_{fq}	$X_{\sigma 1}$	X_{ad}	X_{aq}
Повърхностни магнити	1	1	1.883	6.925	6.9217
Радиални вкопани магнити	0.881	0.629	1.836	4.445	43.96
Тангенциални вкопани магнити	0.865	0.592	1.735	3.93	33.03

Освен, че не могат да отчетат реалното насищане аналитичните изрази не отчитат наличието на отвори на статорните канали, които при машините с малки мощности причиняват сериозни провали в кривата на магнитната индукция във въздушната междина (фиг.4 и фиг.5).



Фиг.4. Магнитна индукция на надлъжна реакция при радиални магнити.

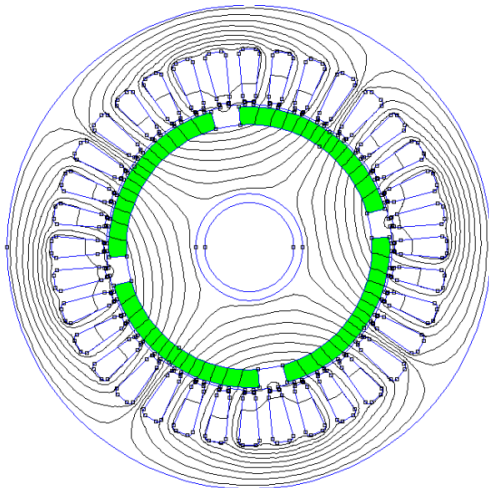


Фиг.5. Магнитна индукция на напречна реакция при радиални магнити.

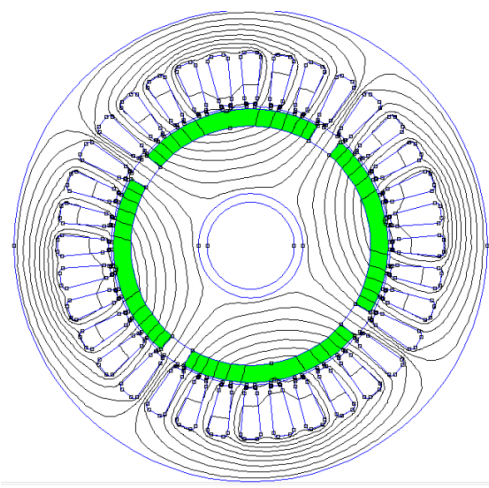
4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СИНХРОННИТЕ РЕАКТАНСИ ОТ РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА МАГНИТНОТО ПОЛЕ

Стойностите на наситените синхронните реактанси могат да бъдат определени от картините на разпределението на електромагнитното поле, получени с използването на метода на крайните елементи. На фиг.6 ÷ фиг.11 са показани линиите

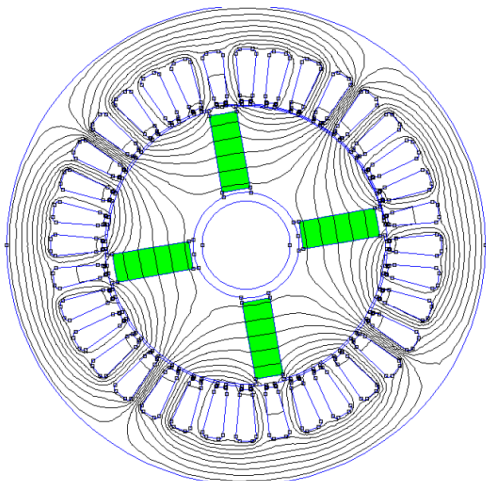
на магнитния поток на надлъжната и напречната реакции на котвата за трите разглеждани конфигурации, получени с използване на FEMM [7].



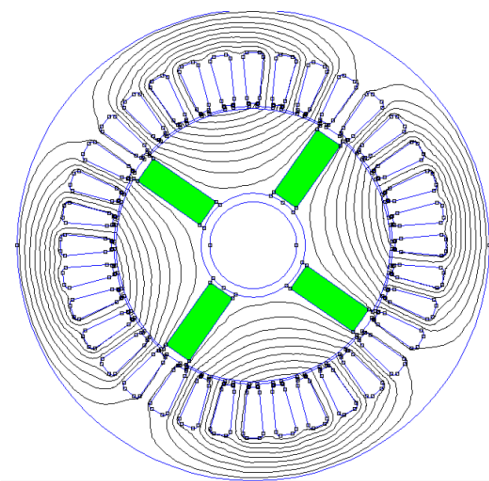
Фиг.6. Надлъжна реакция при повърхностни магнити.



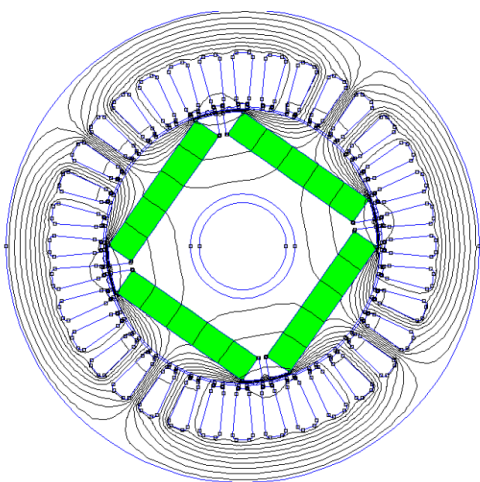
Фиг.7. Напречна реакция при повърхностни магнити.



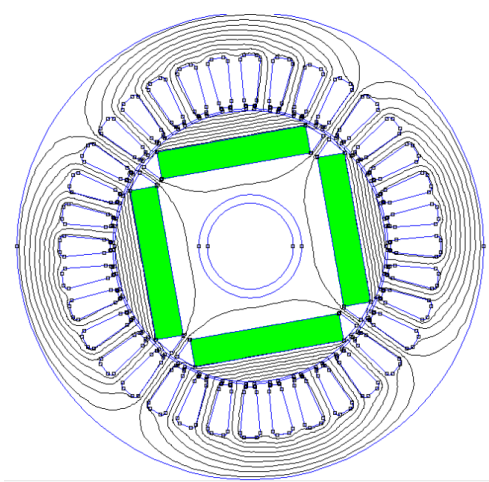
Фиг.8. Надлъжна реакция при радиални вкопани магнити.



Фиг.9. Напречна реакция при радиални вкопани магнити.



Фиг.10. Надлъжна реакция при тангенциални вкопани магнити.



Фиг.11. Напречна реакция при тангенциални вкопани магнити.

При определянето на разпределението на магнитното поле на реакцията на котвата постоянните магнити са заместени с немагнитен материал със съответните магнитни характеристики, а статорния ток е зададен еднакъв за трите случая. Синхронните реактанси могат да се определят по два метода – от потокосцеплението на секциите от една фаза [2,6,7] :

$$X_{(d,q)} = \omega_1 \cdot \frac{\sum_{k=1}^n |\Psi_{(+)}| + \sum_{k=1}^n |\Psi_{(-)}|}{I_m} \quad (5)$$

или от енергията, съхранена в тях [7]:

$$X_{(d,q)} = \omega_1 \cdot \frac{\sum_{k=1}^n \int (AJ)_k}{I_m^2}, \quad (6)$$

където n е броят на секциите, принадлежащи към една фаза, $\Psi_{(+)}$ и $\Psi_{(-)}$ са потокосцепленията съответно на положителната и отрицателната страна на секцията на разглежданата фаза, $\int (AJ)_k$ е енергията запасена в една секция на съответната фаза, I_m е амплитудната стойност на фазния ток и ω_1 - кръговата честота. И двата метода дават приблизително еднакви резултати.

5. СРАВНЕНИЕ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Аналитичните зависимости, базирани на коефициентите на формата на полето на реакцията на котвата, дават достатъчно добра точност при определянето на синхронните реактанси на класическите синхронни машини с електромагнитно възбуждане, които са предимно със средни и големи мощности. При малките синхронни двигатели с възбуждане от постоянни магнити магнитната верига има сложна структура, силно зависеща от конструктивното изпълнение и затова е необходимо да се използва метода с крайни елементи за получаване на точното разпределение на магнитното поле [7]. В табл.4 са показани резултатите от определянето на реактансите за трите анализирани конструкции с аналитичните изрази и от разпределението на полето, получено с FEMM. За сравнение същите изчисления са проведени и с комерсиален програмен продукт Ansoft Maxwell 14.0 [8].

Конструкцията с повърхностно разположени магнити има типичен неявнополусен характер. Еквивалентната въздушна междина е голяма и равномерна по цялата периферия на ротора, което обуславя слабо изразената реакция на тока на котвата и равенство на индуктивните съпротивления по двете оси, както при неявнополусните синхронни машини с електромагнитно възбуждане. Освен равенство на индуктивните съпротивления, голямата въздушна междина обуславя и слабо насищане на магнитната верига. Стойностите им, изчислени с аналитичните зависимости, са близки до тези получени от разпределението на полето.

Таблица 4

		Аналитични изрази	Ansoft Maxwell 14.0	FEMM
Повърхностни магнити	X_{ad}	6.925	6.045	
	X_{aq}	6.9217	6.045	
	$X_{\sigma 1}$	1.78	1.883	
	X_d	8.705	7.928	7.8
	X_q	8.7017	7.928	7.78
Радиални вкопани магнити	X_{ad}	4.445	10.37	
	X_{aq}	43.96	45.24	
	$X_{\sigma 1}$	2.34	1.948	
	X_d	6.785	12.32	11.669
	X_q	46.3	47.2	45.81
Тангенциални вкопани магнити	X_{ad}	3.93	8.322	
	X_{aq}	33.03	34.525	
	$X_{\sigma 1}$	2.22	1.735	
	X_d	6.15	10.0577	12.53
	X_q	35.25	36.26	45.71

Конструкцията на роторите с вкопани магнити, независимо дали са радиално или тангенциално разположени, проявяват явнополусен характер. За разлика от явнополусните синхронните машини с електромагнитно възбуждане където $x_d > x_q$, при синхронните машини с вкопани постоянни магнити $x_d < x_q$.

Това се дължи на факта, че магнитния поток на надлъжната реакция преминава през магнита, докато магнитния поток на напречната реакция преминава изцяло през феромагнитна среда.

Резултатите от сравнението показват, че стойностите за синхронното индуктивно съпротивление по напречната ос, определени по аналитичните зависимости са близки до тези от разпределението на магнитното поле.

Значителни разлики се получават за синхронното индуктивно съпротивление по надлъжната ос.

При определянето му с аналитичната зависимост се приема, че целият поток на надлъжната реакция преминава през магнита, докато анализът на картините на разпределението на магнитното поле на надлъжната реакция показва, че част от него преминава през феромагнитна среда между постоянния магнит и повърхността на ротора (фиг.8 и фиг.10). Това води до намаляване на еквивалентното магнитно съпротивление по надлъжната ос и повишаване на индуктивното съпротивление на надлъжната реакция.

Този ефект не може да бъде отчетен от аналитичния израз, поради което резултатите от него са занижени и не може да се приемат за коректни.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разнообразието в конструктивните изпълнения на роторите на синхронните двигатели с възбуждане от постоянни магнити налага необходимостта от индивидуален подход за определяне на синхронните индуктивни съпротивления.

Аналитичните изрази за определянето им не дават коректни стойности при прилагането за всички конструкции, тъй като не отчитат спецификата на разпределението на магнитното поле.

Коректни стойности на съответните съпротивления се получават от картините на разпределението на магнитното поле на надлъжната и напречната реакции на котвата, получено чрез прилагане на метода с крайни елементи, където може да се отчетат всички съотношения между геометричните размери, характеристиките на материалите и реалното насищане на участъците от магнитната система.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Deleanu, S., D. Carpenter. Determination of Parameters of a Synchronous Motor with Radial Permanent Magnets and Rotor Damper Bar Cage. 25th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE 2012), 29 Apr.-2 May 2012, Montreal, Quebec, Canada, pp. 435-440.
- [2] Gieras, J.F., M. Wing. Permanent Magnet Motor Technology. Design and Applications. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 2002.
- [3] Lee, S.T., L.M.Tolbert. Analytical Method of Torque Calculation for Interior Permanent Magnet Synchronous Machines. Energy Conversion Congress and Exposition 20-24 Sept. 2009, ECCE 2009, San Jose, CA, USA, pp.173-177.
- [4] Pyrhönen, J., T. Jokinen, V. Hrabovcová. Design of Rotating Electrical Machines, John Wiley & Sons Ltd, 2008.
- [5] Ангелов, А., Д.Димитров. Електрически машини, II част, София, Техника, 1988.
- [6] Bukholts Yu.G., A.G. Pristup, and T.V. Chestyunina. Determining Inductances of Permanent Magnet Machinewith Single-Slot Windings. ISSN 1068-3712, Russian Electrical Engineering, 2011, Vol. 82, No.6, pp. 302-306.
- [7] Meeker, D. Finite Element Method Magnetics. User's manual, 15 April 2005.
- [8] ANSYS Maxwell 2D Field Simulator v14 User's Guide, 24 March 2011.

Автори: Георги Тодоров, доц. д-р инж., катедра “Електрически машини”, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: gto@tu-sofia.bg; Божидар Стоев, бак. инж. студент, катедра “Електрически машини”, Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: bozhidarstoev@elprommotors.com

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент доц. д-р инж. Михо Михов

СИСТЕМА ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА МАГНИТНИ МАТЕРИАЛИ ПРИ ВИСОКА ЧЕСТОТА

Стефан Методиев, Мигленна Тодорова,
Валентин Матеев, Илиана Маринова

Резюме: За изследване на характеристиките на магнитни материали е изградена измервателна система, която дава възможност за измервания в широк честотен диапазон от 25Hz до 2MHz. Системата включва мощностен усилвател, стабилизатор на ток и интегратор. Възможностите на система са демонстрирани чрез измерване на амплитудно-честотните ѝ характеристики, пулсациите в изходното напрежение, коефициентът на стабилизация, изкривяванията на системата и др. Оценена е грешката на направените измервания.

Ключови думи: магнитни материали, ферити, високочестотен усилвател, магнитен хистерезис, измервателна система

SYSTEM FOR EXPERIMENTAL STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF MAGNETIC MATERIALS AT HIGH FREQUENCY

Stefan Metodiev, Miglenna Todorova,
Valentin Mateev, Iliana Marinova

Abstract: For experimental investigations of the characteristics of magnetic materials a measurement system for wide frequency range measurements is built. The system is operational in frequency range from 25Hz to 2MHz. The system includes a power amplifier, controllable current source and integrator. The possibilities of the system are demonstrated by measuring of amplitude-frequency characteristics, ripple levels of output voltage, the stability factor, the distortions of the system, and etc. The measurement uncertainty of the proposed system is estimated.

Keywords: magnetic materials, ferrites, high-frequency amplifier, magnetic hysteresis, measuring system

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Поради възможността им да работят при висока честота феритните материали намират все по-голямо приложение и в областта на електрическите апарати. Това налага нуждата от цялостно изследване на техните електромагнитни свойства и характеристики в широк честотен диапазон.

Повечето магнитни материали имат значителни загуби при честота, по-висока от няколко мегагерца. Освен това изследването им при висока честота обикновено се прави при малък интензитет на полето. Точното определяне на специфичните загуби в магнитните материали е от решаващо значение за редица електромагнитни приложения в електрониката и електротехниката. Работната честота влияе съществено върху избора на магнитен материал, конструкцията и работния режим. [1-5]

В статията е представена измервателна система за изследване на характеристиките на магнитни материали при честота до 2MHz. Системата включва усилвател с мощност 75W и стабилизатор на постоянен ток до 5A. С разработената система се изследват основните магнитни характеристики като крива на намагнитване, хистерезисен цикъл, частен хистерезисен цикъл, зависимост на относителната магнитна проницаемост от честотата и интензитета на полето, загуби в зависимост от интензитета на полето и честотата и др.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА СИСТЕМА

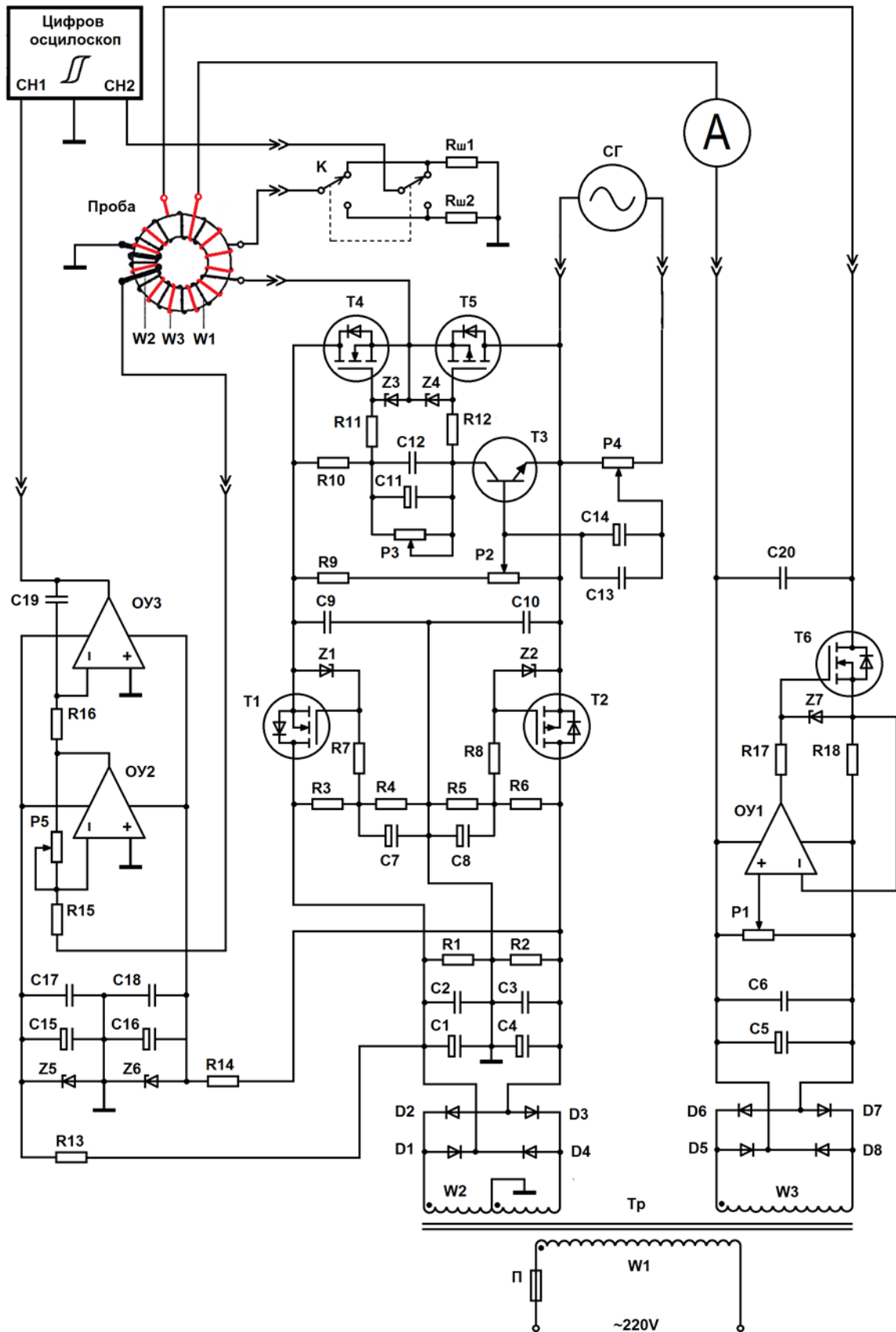
Експерименталната система за изследване на електромагнитните характеристики на магнитни материали използва метода на индуктивно намагнитване с променлив ток със система от две намотки, намагнитваща и измервателна. Системата може да осигури голям интензитет на магнитното поле в изследвания магнитен материал и да измерва магнитните му характеристики в широк честотен диапазон.

На фиг.1 е показана електрическата схема на конструираната измервателна система, чиито основни блокове са усилвател, интегратор и стабилизатор на ток. За осъществяване на измерванията са използвани допълнително уредите функционален генератор (Arbitrary Morphing Waveform-Generator WG-820), цифров осцилоскоп (Tektronix TDS 1001B) и амперметър (MY68).

Принципът на работа на измервателната система е следният: от сигналния генератор се задава честотата на синусоидален сигнал, той се усилва от усилвателя и захранва възбудителната намотка на пробата. Възбудителният ток е пропорционален на интензитета на полето, а напрежението индуктирано в измервателната намотка – на магнитната индукция. Интеграторът служи за интегриране на индуктираното напрежение преди да се визуализира на екрана на цифровия осцилоскоп. Стабилизаторът на ток захранва трета намотка и така се осигурява постояннотоково подмагнитване в магнитния материал.

За намаляване на изходните пулсации усилвателят се захранва от двуполлярно стабилизирано напрежение. Крайното стъпало на усилвателя работи в клас B и е изградено от два комплементарни MOSFET транзистора (T4 и T5). За температурна стабилизация транзисторите са монтирани на общ охладител.

Усилвателят има максимална мощност 75W при синусоидален изходен ток 7.5A и запазва ниски хармонични изкривявания в диапазона 25Hz ÷ 2MHz. При максимално натоварване постояннотоковата съставка е 17 mV, а пулсациите са 4.8 mV. Коефициентът на усилване по напрежение се регулира чрез потенциометъра P4 в границите от 0.05 до 100.



Фиг.1. Електрическа схема на измервателната система

Отчитането на изходния ток се извършва посредством безиндуктивен шунтов резистор. За целта са използвани два металослойни резистора ($R_{ш1}$ и $R_{ш2}$), ко-

ито обуславят два токови обхвата: $0 \div 0.2\text{A}$ и $0.2 \div 7.5\text{A}$. Разделянето на обхвата осигурява по-голяма точност при измерването.

Интеграторът е изграден на базата на операционен усилвател MC33078 (ОУ2 и ОУ3), който се характеризира с честотна лента 16MHz , хармонични изкривявания под 0.002% и собствен шум 4.5 nV/Hz^{-2} .

Функционалният генератор **Arbitrary Morphing Waveform-Generator WG-820** има честотна лента: 20 MHz ; амплитудна дискретизация: 8 bit (256 нива); максималната амплитуда на изходния сигнал: 10 V [6]. Стабилизаторът на ток е реализиран посредством операционен усилвател LM358 (ОУ1) и MOSFET транзистор IRF540N (Т6). Изходният ток се регулира чрез потенциометъра P1. При максимална стойност от 7.5A пулсациите са 3.2 mV . Пулсациите в изходното напрежение са измерени посредством цифров осцилоскоп, като при максимална стойност на изходния ток 7.5A те са 3.2mV . Коефициентът на стабилизация е:

$$K_W = \frac{\Delta I_i}{\Delta U_0} \cdot \frac{U_0}{I_i} = 0.006. \quad (1)$$

Цифровият осцилоскоп Tektronix TDS 1001B е двуканален с честота на семплиране: 500 MS/s и честотна лента: 40 MHz . [7]

В изходното синусоидално напрежение има несиметрия между двете полу-вълни, която може да се определи чрез измерване на постояннотоковата съставка на напрежението. Коефициентът на изкривявания вследствие на постояннотоковата съставка в изходното напрежение се определя като отношение между ефективната стойност на изходното синусоидално напрежение и неговата постояннотокова съставка:

$$K_d = \frac{U_0}{U_{DC}} \cdot 100\% . \quad (2)$$

Интензитетът на полето в изследвания магнитен материал се определя от намагнитващия ток I , от броя на навивките в намагнитващата намотка w_1 и от дължината на средната магнитна линия l_{cp} :

$$H = \frac{w_1 \cdot I}{l_{cp}} . \quad (3)$$

Стойността на индукцията се определя от амплитудната стойност на индуктираното напрежение U_m , от броя на навивките в измервателната намотка w_2 , от честотата f и от сечението s на магнитопровода:

$$B = \frac{U_m}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot w_2 \cdot s} . \quad (4)$$

Ъгълът на дефазирание ϕ се определя чрез измерване на времето закъснение t на намагнитващия ток спрямо индуктираното напрежение в измервателната намотка w_2 . При известна стойност на периода T ъгълът се получава чрез

$$\varphi = \frac{360 \cdot t}{T} + 90. \quad (5)$$

Вследствие на променливия интензитет на магнитното поле в материала възникват загуби от вихрови токове и от хистерезис. Тяхната сума е равна на активната мощност P , консумирана от изследвания образец. При равен брой на навивките на w_1 и w_2 активната мощност е произведение между индуктираното напрежение в измервателната намотка U_{w_2} , намагнитващия ток I и косинуса на ъгъла φ

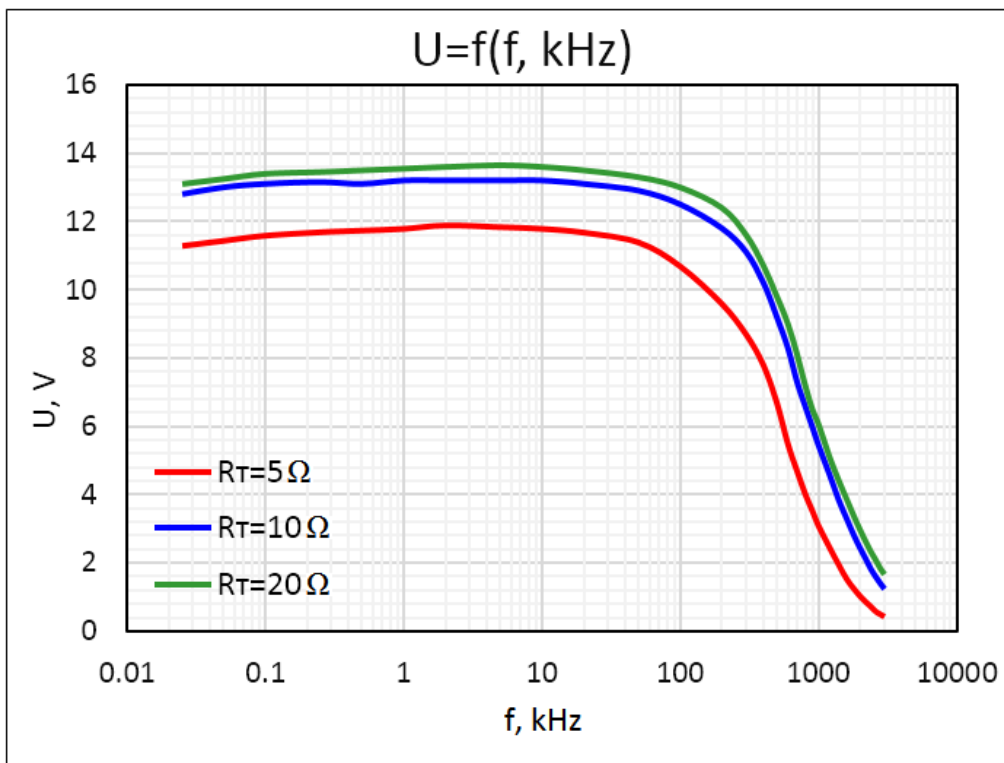
$$P = U_{w_2} \cdot I \cdot \cos \varphi. \quad (6)$$

Измервателната система дава възможността да се измерва хистерезисен цикъл на магнитните материали. Формата на хистерезисния цикъл се получава на екрана на цифровия осцилоскоп след като преместването на лъча по x отговаря на стойността на интензитета на полето, а преместването на лъча по y е пропорционално на интегрираната стойност на измерената индукция в магнитопровода.

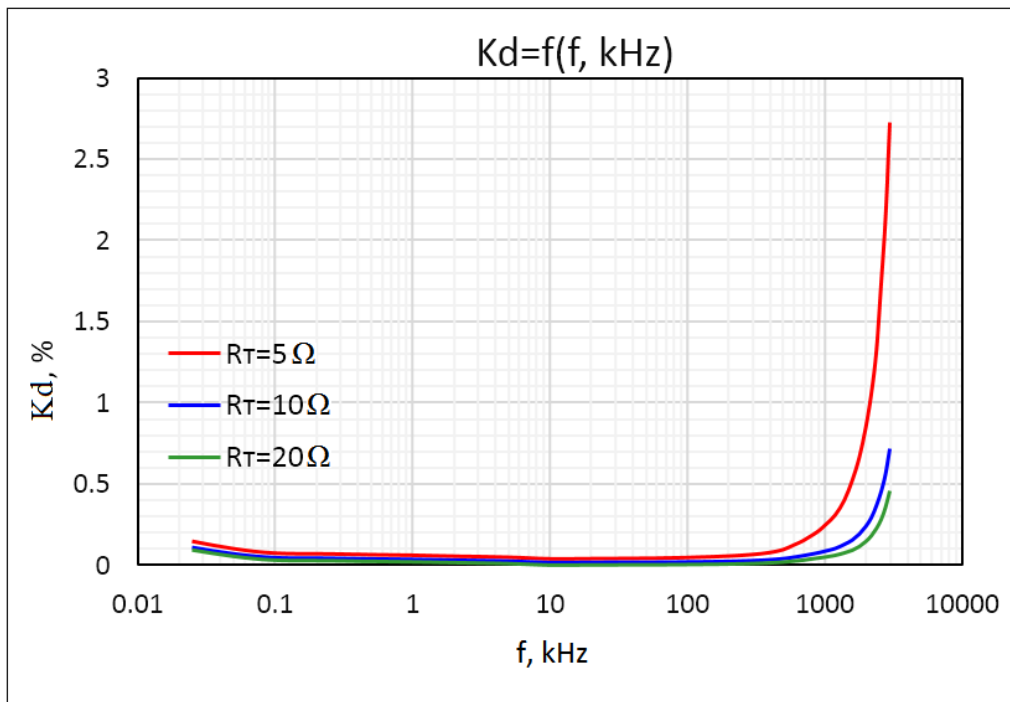
За изследване на влиянието на постояннотоковата съставка върху формата на хистерезисния цикъл се използва трета намотка w_3 , навита равномерно по дължината на тороидалния образец, която се захранва от стабилизатора на ток.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

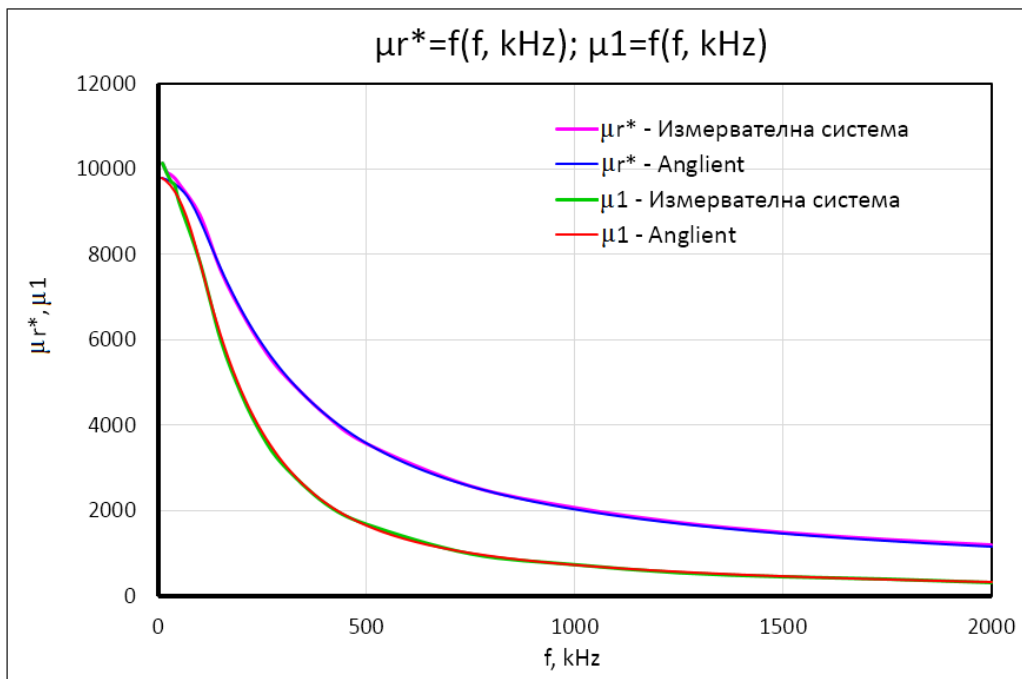
Експерименталните резултати включват характеристиките на измервателната система и магнитните характеристики ма на тороидална феритна проба R16/9.6/6.3L K10000 [5].



Фиг.2. Амплитудно-честотна характеристика на усилвателя.



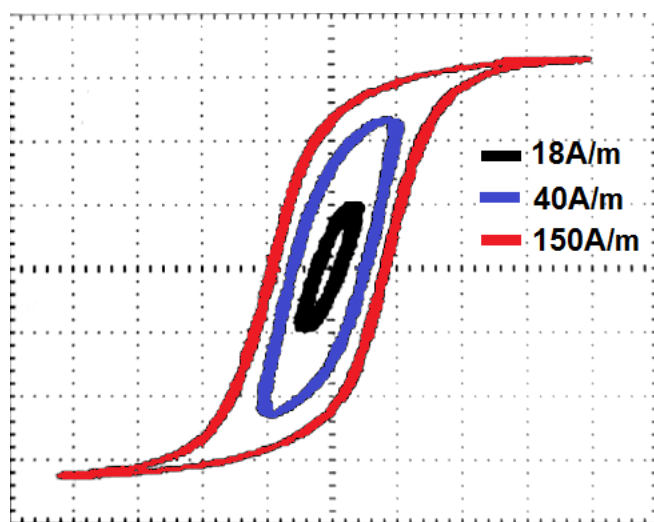
Фиг.3. Коэффициент на изкривявания.



Фиг.4. Комплексна и реална магнитна проницаемост в зависимост от честотата на полето.

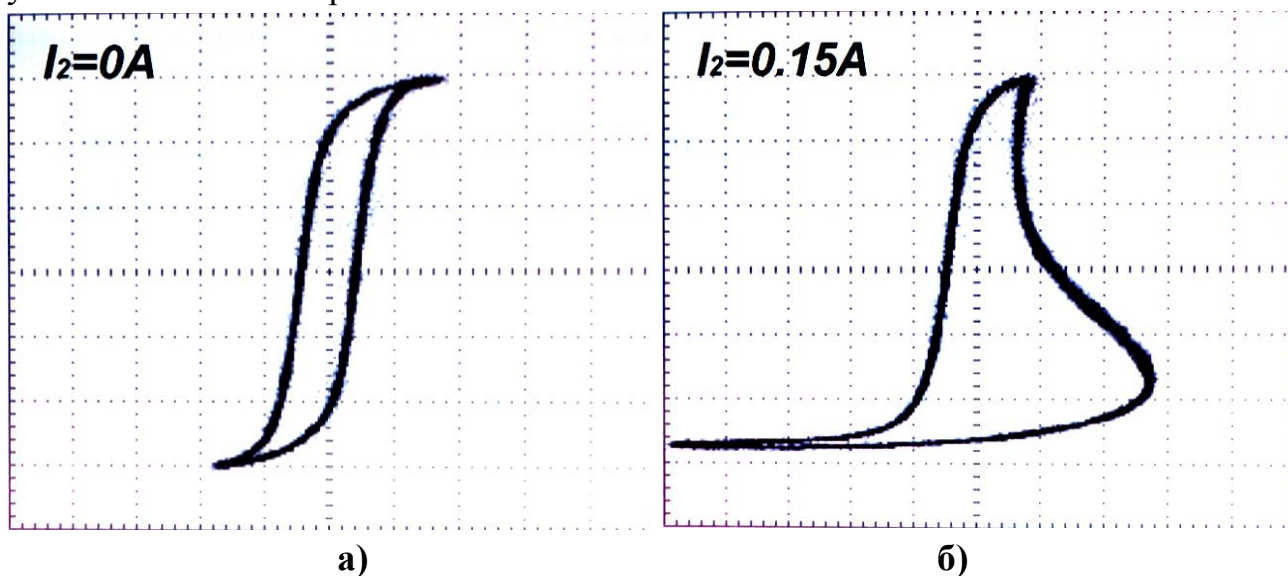
Хистерезисни цикли на ферит R16/9.6/6.3L K10000 при честота 50 kHz и интензитет на полето 18A/m, 40A/m и 150A/m са показани на фиг.5.

На фиг.6 е показано влиянието на постояннотоковото подмагнитване върху формата на хистерезисния цикъл на ферит R16/9.6/6.3L K10000 при честота 50 kHz с брой на навивките $w_1 = w_2 = 5$ нав., $w_3 = 10$ нав. Амплитудата на променливата съставляваща на интензитета е 70A/m, постоянната е 40A/m.



Фиг.5. Хистерезисни цикли, получени с измервателната система.

От амплитудно-честотната характеристика, показана на фиг.2, се вижда, че амплитудата на изходния сигнал намалява с увеличаване на честотата. Това се дължи на предавателните характеристики на използвани в схемата транзистори, а тяхното вътрешно съпротивление обуславя намаляването на амплитудата при увеличаване на товара.



Фиг.6. Хистерезистен цикъл без а) и при наличие на постояннотоково подмагнитване б)

На фиг.3 е показан коефициентът на изкривявания в зависимост от честотата на изходния товар. Вследствие на постояннотоковата съставка в изходното напрежение възникват изкривявания, които се увеличават рязко след 1MHz. Те се пораждат от разлики в предавателните характеристики на двата крайни транзистора.

На фиг.4 е показано сравнение между магнитните проницаемости, получени с измервателната система и тези, получени от импеданс анализатор с приставка Anglient 16454. Забелязва се, че разликата е най-голяма при ниска честота, поради малката стойност на индуктираното напрежение в измервателната намотка. Измерванията са направени върху ферит R16/9.6/6.3L K10000 при интен-

зитет $H = 0.53 \text{ A/m}$. Максималната разлика между резултатите за μ_r^* е 3,34%, а за μ_1 е 3,53%. Средната разлика за μ_r^* е 0,64%, а за μ_1 е 0,42%.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С конструираната измервателна система могат да се изследват малки тороидални образци в честотния диапазон $25 \text{ Hz} \div 2 \text{ MHz}$. Максималното изходно напрежение е 10 V , максималният изходен ток е 7.5 A , а максималната мощност - 75 W . Схемата позволява визуализиране на хистерезисен цикъл без и при наличие на постояннотоково подмагнитване.

Чрез използване на транзистори с по-добри параметри може да се разшири честотният диапазон и да се намалят нелинейните изкривявания. Правилното конфигуриране на броя на навивките на измервателната и намагнитващата намотки има съществено значение върху диапазона и точността на изследването.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Fecioru-Morariu M., Padurararu A., Caltun O., *The Influence of the Frequency and Waveform on the Hysteresis Loop of Some NiZnCu Ferrites*, „Al. I. Cuza“ University, Faculty of Physics, 11 Bd. Carol I, 700506, Iasi, Romania (2003)
- [2] Orenchak G., *Measuring Soft Ferrite Core*, Ferrite International Company Wadsworth, IL 60083 (1995)
- [3] Han Y., Cheung G., Li A., Sullivan C., Perreault D., *Evaluation of Magnetic Materials for Very High Frequency Power Applications*, Thayer School of Engineering at Dartmouth, Hanover (2008)
- [4] Wilson P., Neil R., Brown A., *Modeling Frequency-Dependent Losses in Ferrite Cores*, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 40, NO. 3, MAY 2004
- [5] Тодорова М., Методиев С., Матеев В., Маринова И., *Измерване на характеристиките на магнитни материали при висока честота*, VI Научна Конференция, 15-17 септември, Созопол, България, 2014 година
- [6] User Manual for Arbitrary Morphing Waveform-Generator WG-810/820/1220/1240/1440/1475.
- [7] Tektronix User Manual for TDS1000- and TDS2000-Series Digital Storage Oscilloscope

Автори: инж. Стефан Методиев, студент, катедра "Електрически апарати", Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: bellfador@abv.bg; Мигленна Тодорова, инж. студент, катедра "Електрически апарати", Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: miglenna_todorova@abv.bg; Валентин Матеев, гл. ас. маг. инж., катедра "Електрически апарати", Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: vmateev@tu-sofia.bg; Илиана Маринова, проф. дтн инж., катедра "Електрически апарати", Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: iliana@tu-sofia.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: проф. д-р инж. Никола Трифонов

ИЗМЕРВАНЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА МАГНИТНИ МАТЕРИАЛИ ПРИ ВИСОКА ЧЕСТОТА

Мигленна Тодорова, Стефан Методиев,
Валентин Матеев, Илиана Маринова

Резюме: В тази статия са разглеждат принцип и апаратура за измерване на магнитни характеристики на феритни материали в широк честотен диапазон с помощта на разработена прецизна измервателна система. Изследвани са феритни материали във вид на тороидални проби с различни размери и характеристики. Измервателната система позволява изследвания в честотния диапазон от 25 Hz до 2 MHz. Получени са резултати за комплексната магнитна проницаемост на изследваните магнитни материали при различни честоти и интензитет на полето.

Ключови думи: магнитни материали, ферити, магнитни характеристики, измервателна система, висока честота, комплексна магнитна проницаемост

MEASUREMENT OF THE CHARACTERISTICS OF MAGNETIC MATERIALS AT HIGH FREQUENCY

Miglenna Todorova, Stefan Metodiev,
Valentin Mateev, Iliana Marinova

Abstract: In this paper the characteristics of soft magnetic ferrite materials at wide frequency range are investigated with developed precise system. Ferrite materials have been investigated as toroidal samples of different sizes and characteristics. The measuring system allows studies in the frequency range from 25 Hz to 2 MHz. Results for complex permeability of the examined toroidal ferrites are obtained at various frequencies and intensity of the magnetic field.

Keywords: magnetic materials, ferrites, magnetic characteristics, measuring system, high frequency, complex magnetic permeability

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременното развитие на магнитно меките феритни материали и технологии води до проектиране и производство на високоефективни и компактни електромагнитни устройства с широко приложение в областта на автоматиката, електротехниката, електрониката, медицината и др.

Феритите представляват керамични материали, съставени от химически свързани железни оксиди и един или няколко метални елемента. Магнитно меките феритни материали се характеризират със сравнително голяма намагнитеност на

насищане, малък коерцитивен интензитет, малка площ на хистерезисната крива и респективно малки загуби от пренамагнитване [1]. Специфичната електрическа проводимост на феритите е много малка, което ги прави особено подходящи за работа при високи честоти, тъй като загубите от вихрови токове са пренебрежимо малки. Съществено предимство на феритите е, че изработването на магнитопроводи е просто и евтино, като лесно се изготвят сложни конструкции. Феритните материали намират широко приложение като електронни компоненти, индуктори, трансформатори, сензори и др.

Определянето на електрическите и магнитните свойства и характеристики на магнитните материали с висока точност и в широк честотен диапазон е важно изискване за точното моделиране, проектиране и изследване на различни електромагнитни устройства. Тези характеристики зависят от редица фактори като честота, температура, хомогенност, изотропност и др. Прецизното определяне на тези характеристики се затруднява от това, че трябва да се осигури достатъчно голям интензитет в магнитопровода на пробата при висока честота на полето. За постигане на висока точност при измерване на тези магнитни характеристики е необходимо създаването на хомогенно поле и осигуряването на постоянен температурен контрол на изследваните проби. [2-4]

В тази статия са представени резултати за измерени магнитни характеристики на различни феритни материали с голяма точност и в широк честотен диапазон. Изследвани са няколко тороидални феритни проби с различни размери и характеристики. Измерванията са направени с предварително разработена измервателна система, която позволява изследвания в честотния диапазон от 25 Hz до 2 MHz. Получени са резултати за комплексната магнитна проницаемост и специфичните загуби на изследваните магнитни материали при различна честота и интензитет на полето.

2. КОМПЛЕКСНА МАГНИТНА ПРОНИЦАЕМОСТ

Поведението на магнитно меките феритни материали се представя чрез комплексната магнитна проницаемост

$$\dot{\mu} = \frac{\dot{B}}{H} = \mu'(\omega) - j\mu''(\omega), \quad (1)$$

където μ' , μ'' и ω са съответно реалната компонента, имагинерната компонента на комплексната магнитна проницаемост и работната кръгова честота. Реалната компонента съответства на активната магнитна проницаемост и отразява възможностите на материала да съхранява магнитна енергия, докато имагинерната компонента съответства на специфичните загуби в материала на магнитопровода при съответната работна честота ω .

Относителната комплексна магнитна проницаемост $\dot{\mu}_r$ се представя с

$$\dot{\mu}_r = \frac{\dot{\mu}}{\mu_0} = \mu_r'(\omega) - j\mu_r''(\omega), \quad (2)$$

където $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ е магнитната проницаемост на вакуум.

Ъгълът на загубите φ се представя с [5]:

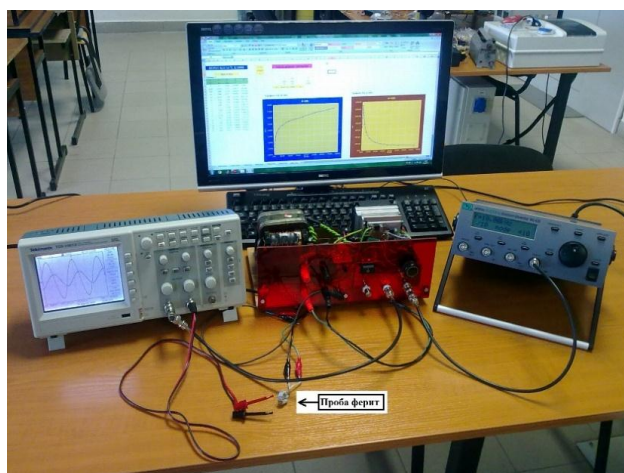
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\mu''}{\mu'} \quad \text{или} \quad \varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{\mu''}{\mu'} \right). \quad (3)$$

Комплексната магнитна проницаемост е ефективен начин за представяне на характеристиките на магнитните материали при висока честота и променливо намагнитване, като дава точна количествена представа за поведението на материала в различни работни условия.

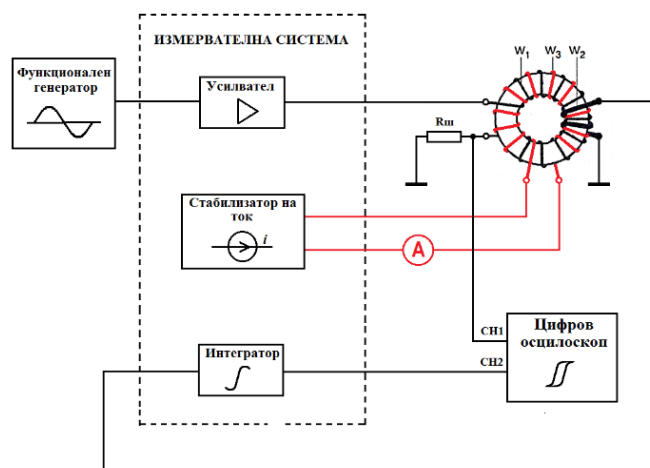
3. ИЗМЕРВАТЕЛНА СИСТЕМА

За експерименталното изследване на характеристиките на феритни магнитни материали е разработена прецизна измервателна система, работеща в широк честотен диапазон и осигуряваща необходимата мощност за плавно регулиране на намагнитването при промяна на честотата. Системата е изградена от мощен усилвател с широка честотна лента, стабилизатор на ток и интегратор.

Усилвателят е с максимална мощност 75 W при синусоиден изходен ток 7.5 A, като запазва ниски хармонични изкривявания в диапазона 25 Hz ÷ 2 MHz. При максимално натоварване постояннотоквата съставка е 17 mV, пулсациите са 4.8 mV, а коефициентът на усиление по мощност е 7500. Стабилизаторът на ток осигурява постоянен ток с максимална стойност 7.5 A при пулсации на изходното напрежение 3.2 mV и коефициент на стабилизация 0.006. Интеграторът използва операционен усилвател MC33078, който се характеризира с честотна лента 16 MHz, хармонични изкривявания под 0.002% и собствен шум 4.5 nV/Hz². [6] Общ вид на измервателната система е показан на фиг.1. Блоквата схема на измервателната система е показана на фиг.2.



Фиг.1. Измервателна система.



Фиг.2. Блоквата схема на опитната постановка.

Измервателната система съдържа още: функционален генератор WG-820, мощен усилвател с широка честотна лента, стабилизатор на ток, интегратор, цифров осцилоскоп (Tektronix TDS 1001B) и изследван феритен тороидален образец със система от измервателни намотки.

Функционалният генератор WG-820 има честотна лента: 20 MHz; амплитудна дискретизация: 8 bit (256 нива); максимална амплитуда на изходния сигнал: 10 V [7].

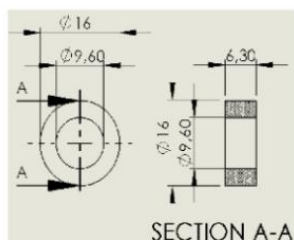
Цифровият осцилоскоп Tektronix TDS 1001B е двуканален с честота на семплиране: 500 MS/s и честотна лента: 40 MHz [8].

4. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗМЕРВАНИЯТА

Изследванията на магнитните характеристики са направени за няколко проби тороидални ферити от производител Kaschke [9]. На фиг.3 и на фиг.4 са показани изследваните ферити (а) и техните геометрични размери (б).



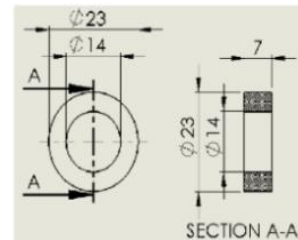
а)



б)



а)

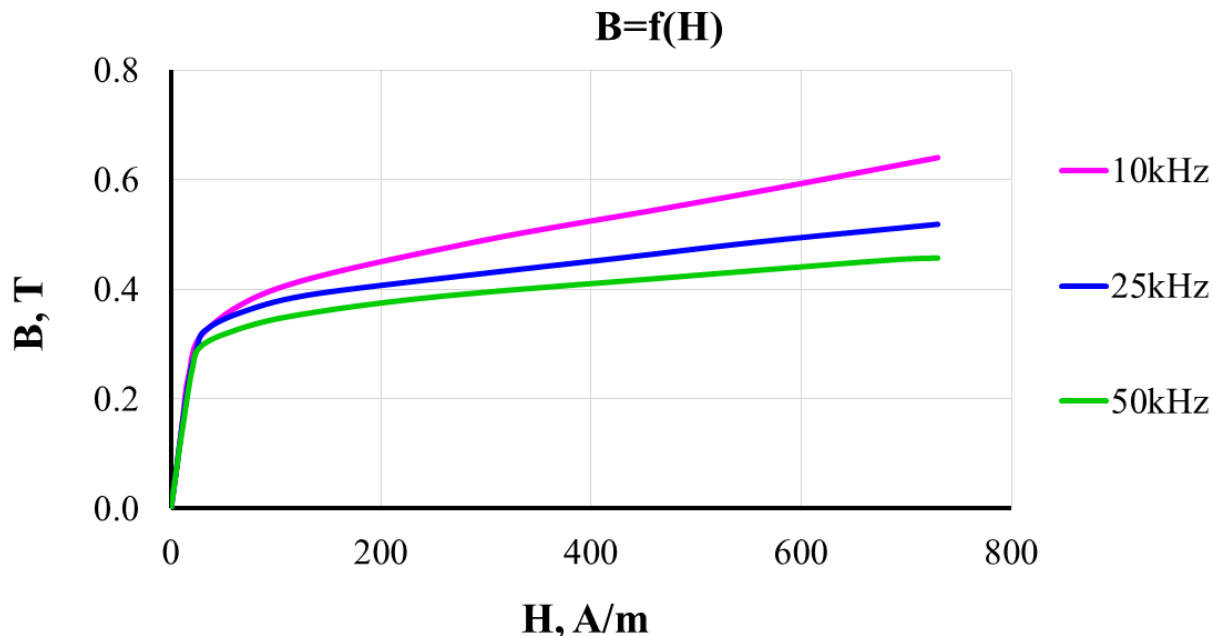


б)

Фиг.3. Проба 1, R16/9.6/6.3L K10000

Фиг.4. Проба 2, R23/14/7L K2006

Кривата на намагнитване е измерена при три различни честоти - 10 kHz, 25 kHz и 50 kHz на ферит R16/9.6/6.3L K6000, като резултатите са показани на фиг.5.

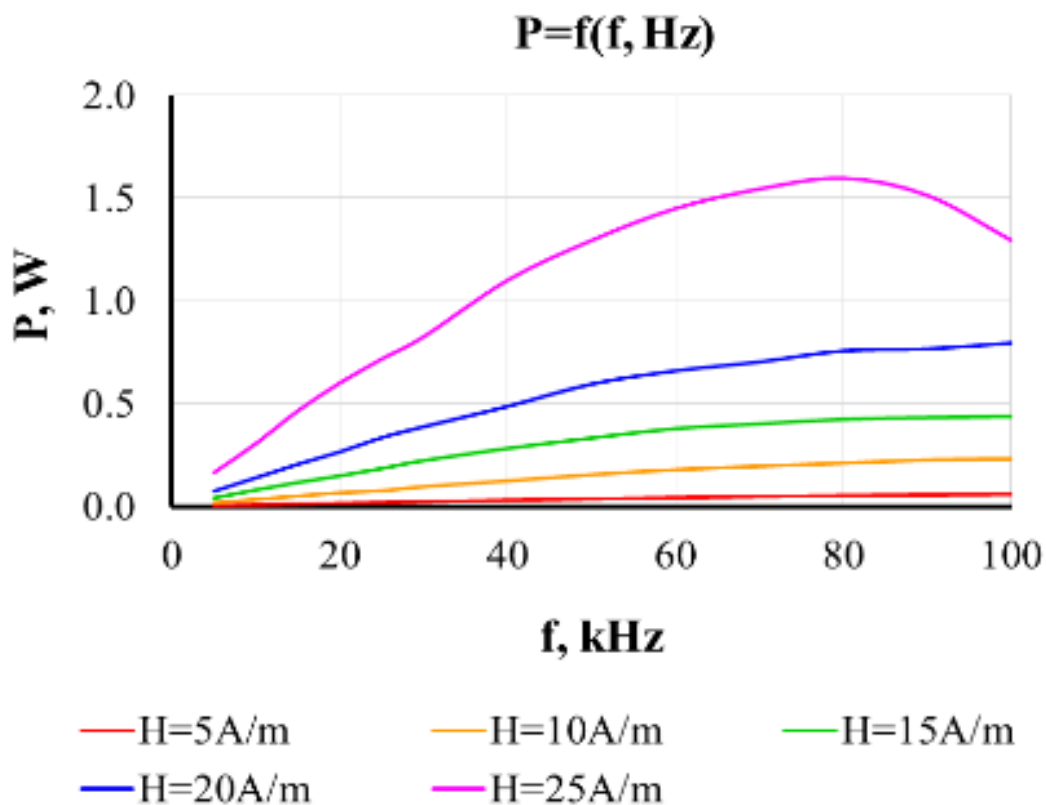


Фиг.5. Крива на намагнитване за R16/9.6/6.3L K10000.

На фиг.5 се вижда, че индукцията на насищане B_s намалява с увеличаване на честотата поради увеличаване на размагнитващото действие на хистерезисните загуби и загубите от вихрови токове.

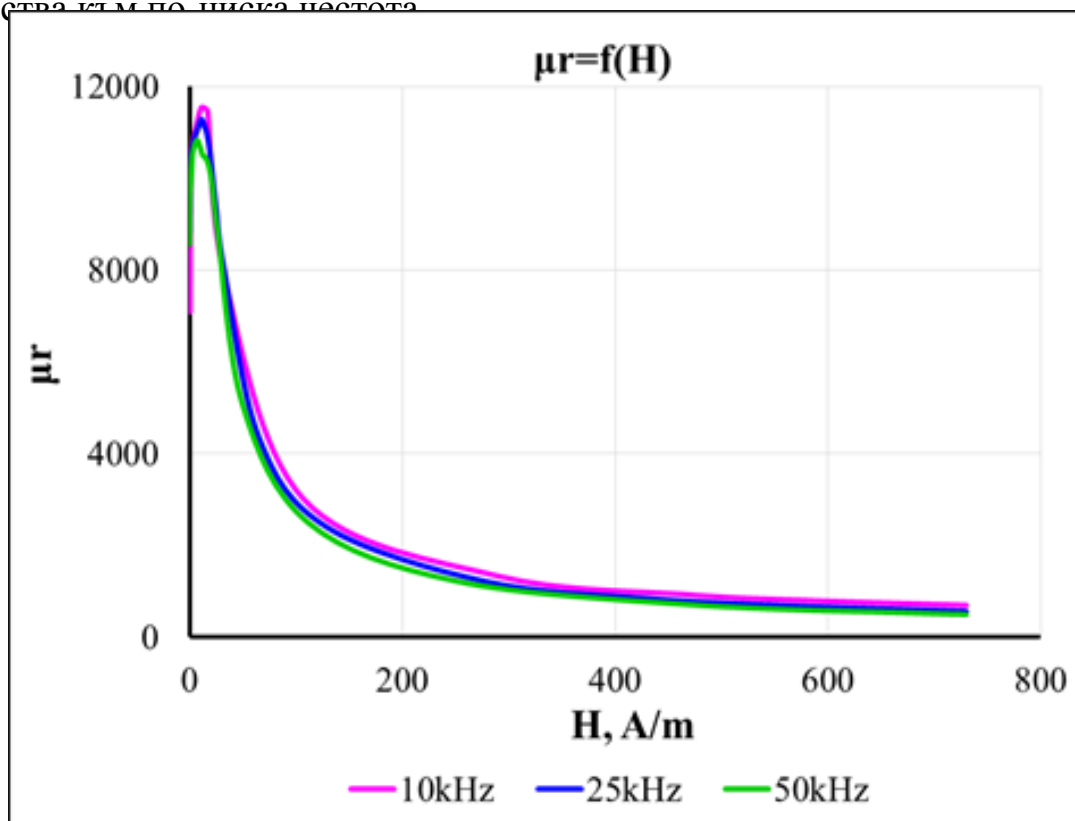
Зависимостта на пълните загуби от честотата при различни стойности на интензитета на магнитното поле в изследвания ферит R16/9.6/6.3L K10000, така и за-

висимостта на магнитната проницаемост от интензитета на полето при честоти 10 kHz, 25 kHz и 50 kHz са показани на фиг.6 и на фиг.7.



Фиг. 6: Загуби от честотата за R16/9.6/6.3L K10000

От фиг.6 следва, че с увеличаване на интензитета максимумът на загубите се премества към по-ниска честота.

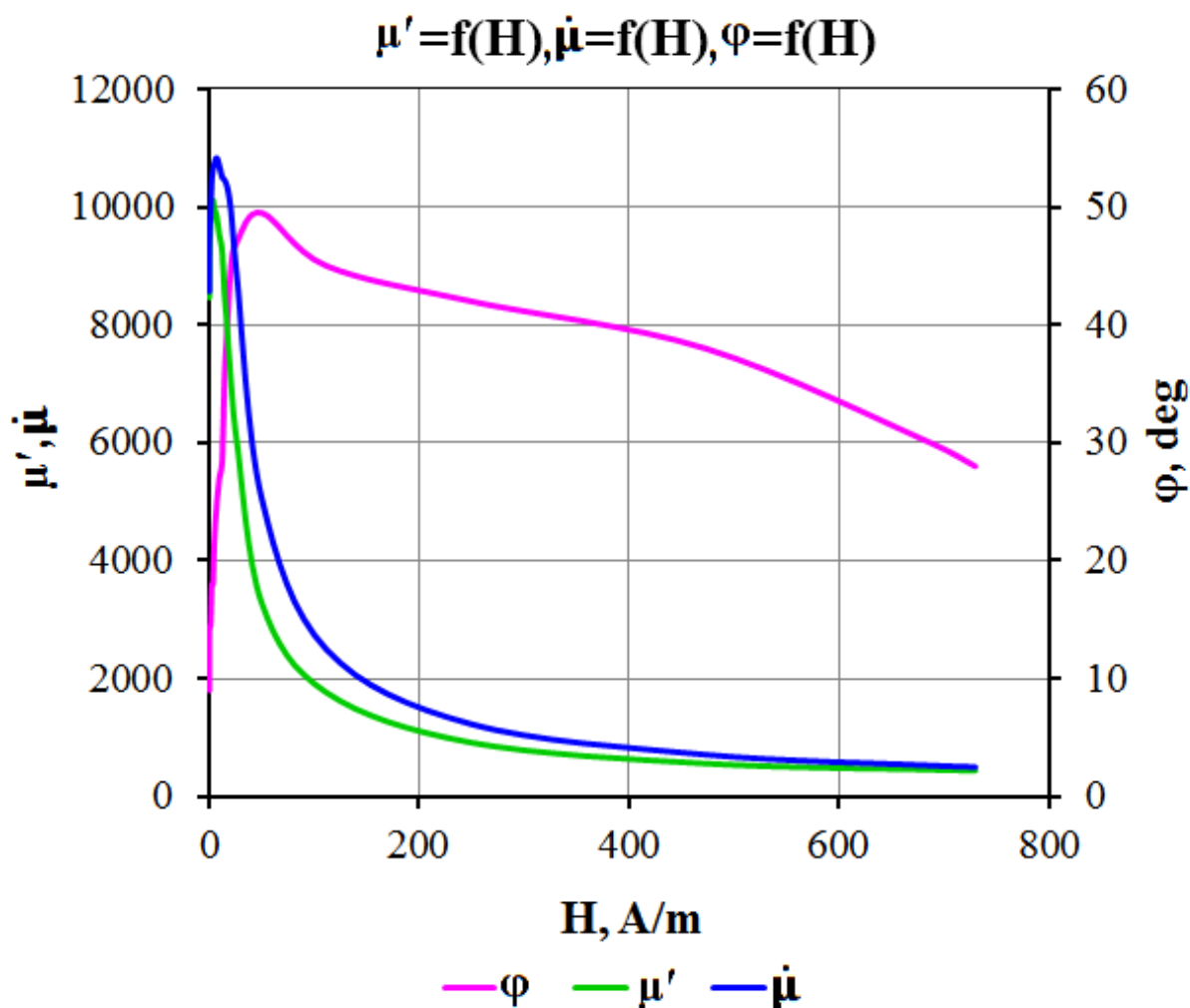


Фиг.7. Магнитна проницаемост от интензитета на полето за R16/9.6/6.3L K10000.

С увеличаване на интензитета относителната магнитна проницаемост намалява, защото материалът се насища и той започва да губи своите феромагнитни свойства (фиг.7).

Определени са комплексната магнитна проницаемост $\dot{\mu}$ и нейната реална съставка μ' за ферит *R16/9.6/3.6L K10000*.

На фиг.8 са дадени зависимостите на комплексната магнитна проницаемост $\dot{\mu}$, на нейната реална компонента μ' и на ъгъла на загубите φ във функция от интензитета на полето при честота 50 kHz.

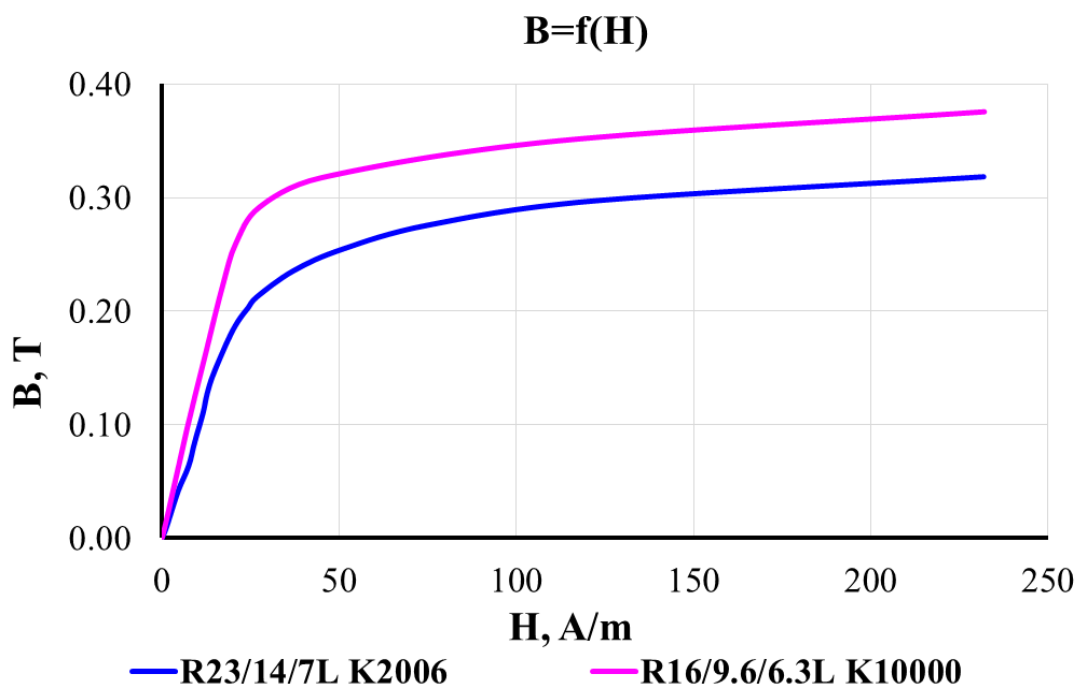


Фиг.8. Комплексна магнитна проницаемост при 50 kHz за *R16/9.6/6.3L K10000*

Фиг.8 показва, че с увеличаването на интензитета на полето – магнитната проницаемост намалява.

Реалната съставка μ' на комплексната магнитна проницаемост е по-малка от измерената.

На фиг.9 е дадено сравнение на зависимостта на магнитната индукция от интензитета на двата феритни материала: *R23/14/7L K6000* и *R16/9.6/6.3L K10000*. Изследването е направено при честота 50 kHz.



Фиг.9. Криви на намагнитване на двете проби.

На фиг.9 е показано, че при един и същ интензитет на магнитното поле в материала с по-голяма магнитна проницаемост магнитната индукция е по-голяма.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията са изследвани характеристиките на два тороидални ферита посредством измервателна система, конструирана за изследване на свойствата на магнитни материали. Двете феритни проби са изследвани в зависимост от: честотата и интензитета на полето.

Методът за определянето на магнитните характеристики позволява изследване на тороидални магнитни материали с неизвестни свойства в широк честотен диапазон и при интензитет на полето, достатъчен за достигане на индукцията на насищане. Може да се повиши точността на измерването, като се отчита влиянието на температурата върху свойствата на изследваните материали.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Sørtdahl T., *Magnetic design for high temperature, high frequency SiC power electronics*, Norwegian University of Science and Technology – Trondheim, Department of Electric Power Engineering, July 2013, p.22.
- [2] М. А. Розенблат, *Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники*, Наука, Москва, 1974, стр. 768.
- [3] Fecioru-Morariu M., Paduraru A., Caltun O., *The influence of the frequency and waveform on the hysteresis loop of some NiZnCu ferrites*, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol.5, No.4, December 2003, pp.985-990.
- [4] Žnidaršič A., Mihael D., *Soft magnetic ferrite materials - Mehkomagnetni feritni materiali*, Materiali in tehnologije, Letn. 37, št. ½ (2003), str.87-90.

- [5] Balanis C., *Advanced engineering electromagnetics – 2nd edition*, John Wiley & Sons, Inc., Published 2012, pp. 79-89.
- [6] Методиев С., Тодорова М., Матеев В., Маринова И., *Система за експериментално изследване на характеристиките на магнитни материали при висока честота*, VI Научна Конференция, 15-17 септември, Созопол, България, 2014
- [7] User Manual for Arbitrary Morphing Waveform-Generator WG-810/820/1220/1240/1440/1475
- [8] Tektronix User Manual for TDS1000- and TDS2000-Series Digital Storage Oscilloscope
- [9] Kaschke Components GmbH: <http://www.kaschke.de/en/home/>

Автори: инж. Мигленна Тодорова, студент-магистър, катедра "Електрически апарати", Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: miglenna_todorova@abv.bg; Стефан Методиев, инж., студент-магистър, катедра "Електрически апарати", Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: bellfador@abv.bg; Валентин Матеев, маг. инж. гл. ас., катедра "Електрически апарати", Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: vmateev@tu-sofia.bg, Илиана Маринова, проф. дтн инж., катедра "Електрически апарати", Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: iliana@tu-sofia.bg

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: проф. д-р инж. Никола Трифонов

ОПТИМИЗАЦИЯ НА НАСТРОЙКИТЕ НА РЕЛЕЙНИТЕ ЗАЩИТИ НА ПОДСТАНЦИЯ „РУДНИЧНА” В АСАРЕЛ МЕДЕТ АД

Константин Малчев, Валентин Колев

Резюме: Всяко изменение в начина на заземяване, мощността на захранващата мрежа, режима на работа на защитавания елемент или неговата замяна, изисква оптимизиране на настройките на релейните защиты. В доклада се отделя особено внимание на изчисляване на настройките на защита на асинхронни двигатели, като се отчита пусковия процес, мощността на захранващата система, големината на минималния ток на к.с. и структурата на мрежата.

Ключови думи: оптимизация, релейни защиты, настройка, подстанция

OPTIMIZATION OF PROTECTIONS' SETTINGS TO SUBSTATION “RUDNICHNA” IN ASREL MEDET AD

Konstantin Malchev, Valentin Kolev

Abstract: Any change in the way of grounding, power supply network, the operating mode of the protected item or its replacement requires optimization of relay protection settings. The report pays particular attention to the calculation of the security settings of asynchronous motors, taking into account the starting process, power supply system, the size of the minimum current I_p and network structure.

Keywords: optimization, relay protection, settings, substation

1. ВЪВЕДЕНИЕ

От пускането на подстанциите в дружеството до настоящия момент защитата на изводите, захранващи с ел. енергия отделните потребители се осъществява с електромеханични релета и монтирани на по-късен етап микропроцесорни защиты на някои по-отговорни изводи.

Към електрическата система 6kV на подстанциите се присъединяват нови мощности, като в подстанция “Руднична” – 110/6/6 kV (ЦПТ2, цех SX-EW), КСТ (Трошачки №4 и №5), КЕТ (предстоящо захранване на „старо ЦПТ”), се промени конфигурацията на електрическата мрежа с няколко нови разпределителни подстанции и се инсталират нови цифрови релейни защиты. Необходимо е да се извърши оптимизация на настройките на релейните защиты на страна средно и страна ниско напрежение и на консуматорите с напрежение 6 kV, захранвани от подстанциите.

Цел.- Оптимизацията на релейните защиты обхващаща: промени в позиционирането на различните по предназначение електромеханични и микропроцесорни защиты; осъществяване на селективност; максимално използване на възможностите на цифровите защиты.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

Към релейните защиты [1], [2], [3] се предявяват следните изисквания:

- Селективност (избирателност) на релейните защиты означава да бъдат изключвани единствено повредени елементи, а изправните да останат да работят.
- Чувствителността е изискване към на релейната защита, при което тя трябва да заработва гарантирано при токовете на к.с., дори и когато техните стойности са минимални. Тази гаранция се дава от т. нар. коефициент на чувствителност $k_{\text{ч}}$, който се дефинира като отношение на минималния т.к.с. $I_{\text{кстmin}}$ и тока на заработване $I_{\text{зр}}$. Коефициентът $k_{\text{ч}}$ трябва да бъде по-голям от единица.
- Сигурност е изискване към на релейната защита, при което защитата не трябва да заработва от токовете при ненормалните, но допустими режими като претоварването, самопускането на асинхронни двигатели и др. Токът, при който защитата заработва $I_{\text{зр}}$ трябва да бъде по-голям от спомнатите ненормални, но допустими токове, а отношението му към най-големия от тях се нарича коефициент на сигурност $k_{\text{с}}$. Този коефициент трябва да бъде по-голям от единица.
- Бързодействието е изискване с което се осигурява минимално възможно време на изключване на к.с. Ограничения идват от изискванията за устойчива работа на електрическата система и на електрическите уредби на потребителите при понижените напрежения на к.с.; намаляване на размера на поражението в мястото на аварията; осигуряване на възможност за възстановяване на нормалната работа на потребителите чрез успешно действие на устройствата за автоматично повторно включване на резервното захранване, успешно самопускане на електрическите двигатели и др.
- Надеждността на релейните защиты е параметър характеризиращ вероятността защитата да аварира.

Поради значително нарасналата обща дължина на кабелната мрежа, захранвана от ПС „Руднична” (ЦПТ 1, ЦПТ 2, SX - EW-1 и SX - EW- 2), стойностите на капацитивния ток значително надвишават допустимите 15 А [2] за мрежа с изолиран звезден център, съгласно изискванията на правилника за безопасността на труда, при разработване на находища по открит начин. Това налага промяна на режима на звездния център на трансформаторите 110/6/6 kV от **изолиран** на заземен през активно съпротивление. С това изменение се постига повишаване на чувствителността и селективността на земните защиты. Според [2, 3] токовата земна защита (ТЗЗ) се изпълнява с три или две стъпала. Настройката по ток на I

стъпало на ТЗЗ се изпълнява непосочна, при липса на напреженов трансформатор или за да се осигури сигурно действие на ТЗЗ при неизправни напреженови вериги или посочен орган, т.е.:

$$I_{ТЗЗ}^I = k_c \cdot I_{c.соб}. \quad (1)$$

Настройката по ток на II стъпало на ТЗЗ се определя с цел осигуряване на достатъчна чувствителност при з.с. през преходно съпротивление 100Ω [3] в края на извода с най-голямо съпротивление.

Настройката по ток на II стъпало на ТЗЗ се определя с израза:

$$I_{ТЗЗ}^{II} = \frac{I_{ЗС(100\Omega)}}{k_q} = \frac{I_{ЗС(100\Omega)}}{1,5} \quad (2)$$

където: $I_{ЗС(100\Omega)}$ е изчисленият ток на земно съединение при съпротивление в мястото на повредата от 100Ω .

ОПТИМАЛНИ НАСТРОЙКИ НА ДВИГАТЕЛИ СРЕДНА МОЩНОСТ

Защитата на двигателите средна мощност с електромагнитни релета ставаше с индукционни релета с времезависими (RI) характеристики, съгласувани с процеса на пускане и максималнотокова защита срещу к.с. Използването на цифровите защиты дава възможност по-добре да се отчетат пусковите характеристики и особеностите на схемата на захранване на двигателите. Така например защитата 7SJ62 на фирма Siemens притежава модул динамични настройки, който се използва при пускане на двигателя. Цифровите защиты на почти всички фирми предлагат възможности за изменение на групите настройки в зависимост от режима на работа на защитаваните съоръжения.

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НАСТРОЙКАТА ПО ТОК

Токът на заработване на максималнотоковата защита се определя с формулата.

$$I_{МТЗ} = \frac{k_c \cdot k_{ex} \cdot k_{II}}{k_{ep}} I_{p.max} \quad (3)$$

където:

$I_{p.max}$ - максимален работен ток, k_{II} е коефициент на пускане,

$k_{ep} = \frac{I_{ep}}{I_{зар}}$ - коефициент на връщане .

За цифровите защиты коефициентът на сигурност се приема – $k_c = 1,1$ [3] а коефициентът на връщане – $k_{ep} = 0,95$.

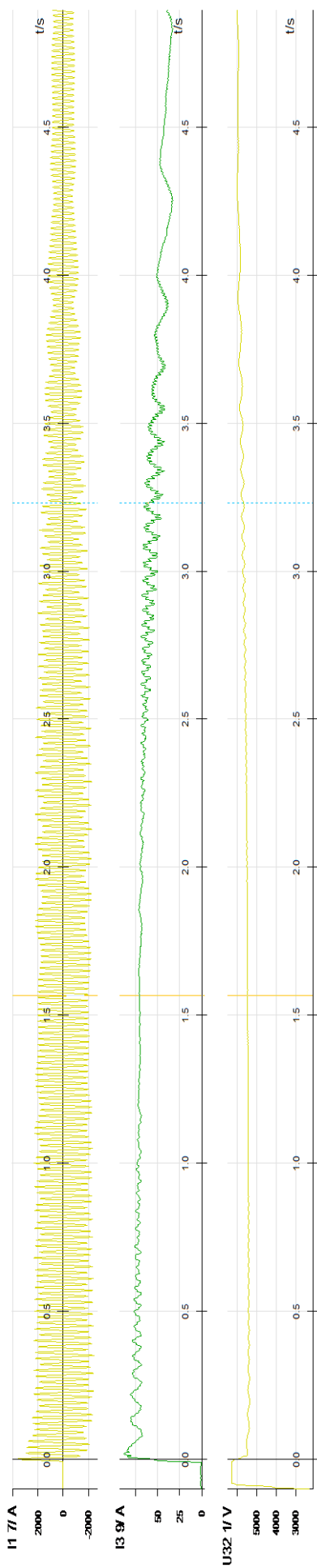
ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КОЕФИЦИЕНТА НА ЧУВСТВИТЕЛНОСТ

Защитата трябва да действа сигурно при двуфазно к.с. при минимален режим, като коефициентът на чувствителност трябва да бъде :

$$k_q = \frac{I_{min}^{(2)}}{I_{МТЗ}} \geq 1,5 \quad (4)$$

Преходният процес при пускане на двигателя има вида показан на фиг.2.

На фиг.1 е показано изменението на моментната и ефективна стойности на тока в една от фазите, както и изменението на ефективната стойност на напрежението на двигателя СДС-19-56-40УХЛ4, 2500 kW, $I_{ном.} = 281$ А.



Фиг.1.

От пусковите характеристики на двигателя при стартиране на съоръженията се определят следните параметри:

$k''_п = \frac{I''_п}{I_H}$ - преходен коефициент на пускане [4]; където I'' е преходен ток, а I_H е номинален ток на двигателя.

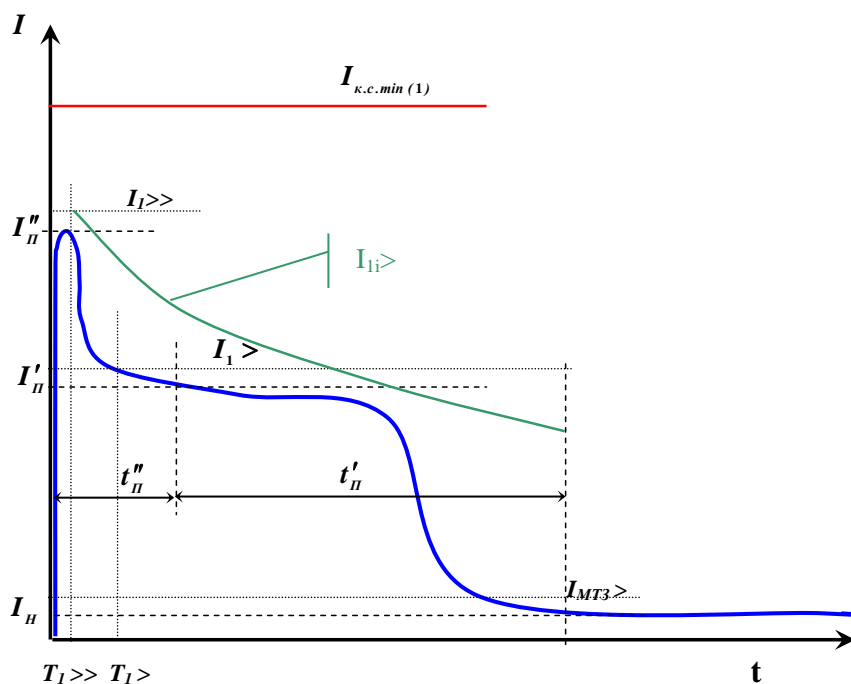
$t''_п$ - продължителност на преходния пусков процес;

$k'_п = \frac{I'_п}{I_H}$ - коефициент на пускане; където I' е пусков ток.

$t'_п$ - продължителност на пусков процес;

От заснетата пускова характеристика са изчислени следните параметри на пусковия процес:

$k''_п$ [o.e.]	$t''_п$ [s]	$k'_п$ [o.e.]	$t'_п$ [s]
6,0 ÷ 6,5	0,10 ÷ 0,15	4,0 ÷ 4,4	4,0 ÷ 4,5



Фиг.2.

Настройките на цифровата защита трябва да осигурява необходимата чувствителност и сигурност. Изискванията за сигурност и чувствителност са взаимно противоположни, т.е. повишаване на сигурността се постига чрез избор на настройка по-голяма от максималния работен режим, а постигане на чувствителност се достига от настройка с по-малка стойност от минималния ток на к.с.. За подобряване на сигурността на защитата се използва и допълнителен параметър – времето на заработване. Съчетанието на настройката по ток и време при различна големина на минималния ток на к.с. определят най-подходящия (оптималния) начин на защита. Да разгледаме различни варианти на параметрите характеризиращи оптималните настройки при:

➤ **Настройки при пускане на двигателя (динамични настройки)**

а) Токова защита $I_{>>}$. Настройката по ток на защита $I_{>>}$ се определя с формула (3) и коефициент на пускане, равен на преходния коефициент, т.е. $k_{п} = k''_{п}$.

1. При коефициент на чувствителност $k_{ч} > 1,5$, т.е. [4]

$$k_{ч} = \frac{I_{к.с.min(1)}}{I_{>>}} > 1,5, \text{ настройки на защита } I_{>>} \text{ в динамичен режим са (Фиг.2): } I_{>>} = I_{I_1>}; T_{>>} = T_{I_1>}$$

2. При коефициент на чувствителност $k_{ч} < 1,5$, т.е. минималният ток на к.с е в интервала $I_{к.с.min(1)} < I_{к.с.min} \leq I'_{п}$, то настройките на защита $I_{>>}$ в динамичен режим трябва да бъдат: $I_{>>} = I_{I_1>}; T_{>>} = t''_{п}$.

б) Токова защита $I_{>}$. Настройката по ток на защита $I_{>}$ се определя с формула (3) и коефициент на пускане, т.е. $k_{п} = k'_{п}$.

1. При коефициент на чувствителност $k_{ч} > 1,5$, т.е.

$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.с. min}(1)}}{I_{>>}} > 1,5$, настройките на защита $I_{>}$ в динамичен режим са (Фиг.2): $I_{>} = I_{I>}$; $T_{>} = T_{I>}$.

2. При коефициент на чувствителност $k_{\text{ч}} < 1,5$, т.е. минималният ток на к.с е в интервала $I_{\text{к.с. min}(1)} < I_{\text{к.с. min}} \leq I'_{\text{П}}$, то настройките на защита $I_{>}$ в динамичен режим са: $I_{>} = I_{I>}$; $T_{>} = t''_{\text{П}} + t'_{\text{П}}$.

с) Токова защита с времезависима (инверсна) характеристика.

Тази защита има характеристиката $I_{I>}$ показана на Фиг. 2. Във всички цифрови защиты има възможност да бъде построена потребителска характеристика, представляваща $I=f(t)$ и описваща най-точно съответния режим.

➤ **Настройки при нормален (работен) режим на работа (настройки група А)**

а) Токова защита $I_{\text{МТЗ} \gg}$.

Настройката по ток на защита $I_{\text{МТЗ} \gg}$ се определя с формулата

$$I_{\text{МТЗ} \gg} = \frac{I_{\text{к.с. min}(1)}}{1,5}$$

1. Така изчисленият ток на заработване осигурява коефициент на чувствителност 1,5. Настройките на защита $I_{\text{МТЗ} \gg}$ в работен режим са: $I_{>>} = I_{\text{МТЗ} \gg}$; $T_{>>} = 0,0 \text{ s}$.

2. При настройка $I_{\text{МТЗ} \gg} = I_{>}$ и коефициент на чувствителност $k_{\text{ч}} > 1,1$ (фиг.2), настройките на защита $I_{\text{МТЗ} \gg}$ в работен режим са: $I_{>>} = I_{\text{МТЗ} \gg}$; $T_{>>} = 0,1 \text{ s}$.

б) Токова защита $I_{\text{МТЗ} >}$.

Настройката по ток на защита $I_{\text{МТЗ} >}$ се определя с формула (3) с коефициентът на пускане е $k_{\text{П}} = 1$.

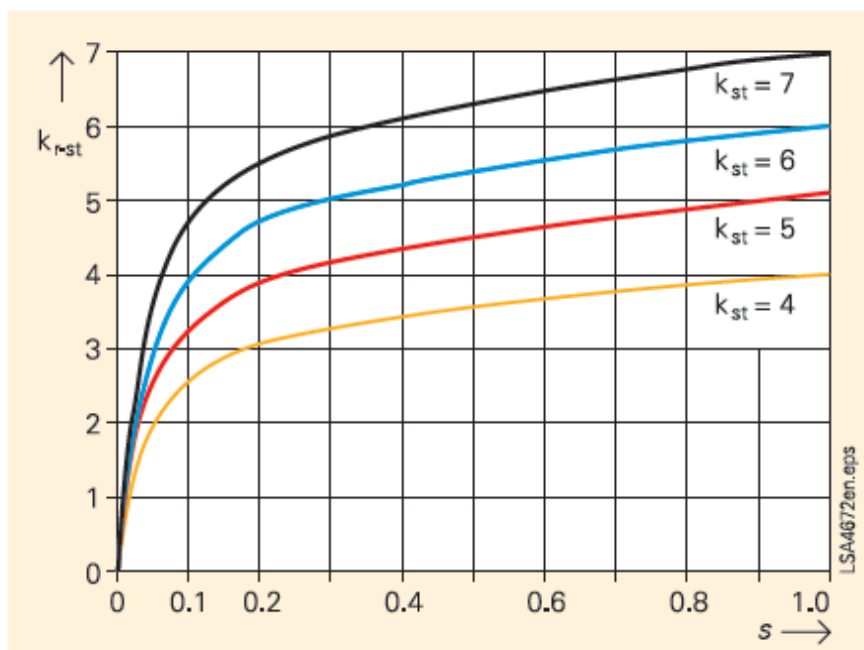
1. Настройките на защита $I_{\text{МТЗ} >}$ в работен режим са: $I_{>} = I_{\text{МТЗ} >}$; стъпало $T_{>} = 0,3 \text{ s}$. [4]

➤ **Настройки при нормален (работен) режим на работа на асинхронния двигател (настройки група А) и включен към захранващата двигателя шина други фидери.**

При възникване на к.с. на някой от паралелно включените на асинхронния двигател фидери до тяхното изключване напрежението на захранващата шина спада. След възстановяване на напрежението започва самопускане на двигателя при което токът нараства значително. Ако напрежението спадне под 80% [4], то минимално напреженова защита изключва двигателя. Ако напрежението е по високо, то във формулата за определяне на настройката (3) е необходимо да се определи това влияние чрез коефициента на самопускане. Определянето на

хлъзгането при изключване на напрежението и познаване на всички параметри на двигателя и работния механизъм може да бъде определено по методиката от литература [7].

Коефициентът на самопускане $k_{r-start}$ може да бъде намерен от номограмата от фиг.3 [4], даваща връзката между коефициента на самопускане $k_{r-start}$ и хлъзгането s при известни коефициенти на пускане k_{start} . На следващата фигура е показана зависимостта на коефициента на самопускане $k_{r-start} = f(s)$ при $k_{start} = const$.



Фиг.3.

В следващите таблици са дадени коефициентите на самопускане в зависимост от хлъзгането при постоянен коефициент на пускане, отговарящи на номограмите от фиг.3

Постоянен коефициент на пускане $k_{start} = 4$

s	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
k_{r-st}	0,55	1,1	1,45	1,7	1,95	2,1	2,25	2,35	2,45	2,55
s	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2
k_{r-st}	2,6	2,7	2,75	2,8	2,88	2,92	2,96	3	3,02	3,05
s	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3
k_{r-st}	3,1	3,12	3,15	3,19	3	3,21	3,22	3,26	3,28	3,3

Постоянен коефициент на пускане $k_{start} = 5$

s	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
k_{r-st}	0,6	1,5	1,8	2,25	2,5	2,7	2,85	3	3,15	3,25
s	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2
k_{r-st}	3,35	3,42	3,5	3,55	3,62	3,7	3,75	3,8	3,85	3,9
s	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3
k_{r-st}	3,92	3,98	4	4,01	4,05	4,09	4,1	4,11	4,15	4,19

Постоянен коефициент на пускане $k_{start} = 6$

s	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
k_{r-st}	0,6	1,5	1,8	2,25	2,5	2,7	2,85	3	3,15	3,25
s	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2
k_{r-st}	3,35	3,42	3,5	3,55	3,62	3,7	3,75	3,8	3,85	3,9
s	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3
k_{r-st}	3,92	3,98	4	4,01	4,05	4,09	4,1	4,11	4,15	4,19

Постоянен коефициент на пускане $k_{start} = 7$

s	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
k_{r-st}	0,9	1,7	2,4	3	3,55	3,75	3,9	4,4	4,5	4,7
s	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2
k_{r-st}	4,82	4,94	5	5,1	5,2	5,3	5,35	5,4	5,45	5,5
s	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3
k_{r-st}	5,55	5,6	5,65	5,68	5,7	5,75	5,79	5,81	5,85	5,9

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптимални настройки могат да бъдат реализирани само, когато е възможно превключването им в зависимост от особеностите на работата на съоръженията. В статията са определени настройките на защитите на двигатели средна мощност в зависимост режима на работа - пускане, нормална работа или самопускане след заработване на защита на паралелен фидер захранван от шината, от която се захранва защитавания двигател.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аврамов Н. Основи на релейната защита. Техника, София, 1984.
- [2] НАРЕДБА №3 от 9 юни 2004г. за устройство на електрическите уредби и електропроводните линии.
- [3] ИНСТРУКЦИЯ за организацията на релейните защиты и изчисление на настройките им в разпределителните уредби средно напрежение в електрическите подстанции на Дирекция „Експлоатация и поддръжка на преносната мрежа” при „Електроенергиен системен оператор” ЕАД
- [4] Optimum Motor Protection with SIPROTEC Protection Relays, Siemens AG 2006
- [5] Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. М.: Энергоатомиздат, 1984. 240 стр.
- [6] Врангов Й. Эксплоатация на асинхронните двигатели в електрическите центри. С. Техника 1991. 165 стр.
- [7] Эрнст А.Д. Самозапуск асинхронных электродвигателей. Омск 2006

Автори: Константин Малчев Малчев, доц. д-р, катедра „Електроенергетика” (ЕЕ), Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: kmalchev@tu-sofia.bg ; Валентин Генов Колев, доц. д-р инж., катедра „Електроенергетика” (ЕЕ), Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: vkolev@tu-sofia.bg

Постъпила на 15.12.2014г.

Рецензент: доц. д-р инж. Станимир Вичев

ОЦЕНКА НА НАДЕЖДНОСТТА НА РУСЛОВИ ВОДНОЕЛЕКТРИЧЕСКИ ЦЕНТРАЛИ

Валентин Колев, Васил Шуманов

Резюме: В доклада са описани основните етапи свързани с оценка на надеждността на руслова водноелектрическа централа (събиране на статистическа информация и нейната обработка; определяне на методите за оценка на надеждността и индексите (показателите) на надеждност; мероприятията водещи до подобряване на надеждността).

Ключови думи: оценка на надеждност, показатели, руслова водно електрическа централа

RELIABILITY AND AVAILABILITY ASSESSMENT OF HYDRO POWER STATION

Valentin Kolev, Vasil Chumanov

Abstract: The report describes the main steps related to the assessment of the reliability of hydropower stations (collection of statistical information and its processing, identification of methods for assessing the reliability and indices (indicators) of reliability events leading to improved reliability).

Keywords: assessment of reliability, parameters, low-pressure water power plant

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Надеждността (reliability) се дефинира като свойство системата (обектът, елементът) да изпълнява адекватно своето предназначение за определен период от време при определени условия на работа.

В енергосистемите могат да бъдат отделени следните функционални зони [1] показани на фиг.1., които могат да се използват при оценяване на надеждността.

Ниво I (HLI) е свързано само с генерацията.

Ниво II (HLII) включва генерацията и преноса, а иерархичното ниво III (HL III) включва всичките три функционални зони при оценяване на захранването на консуматорите.

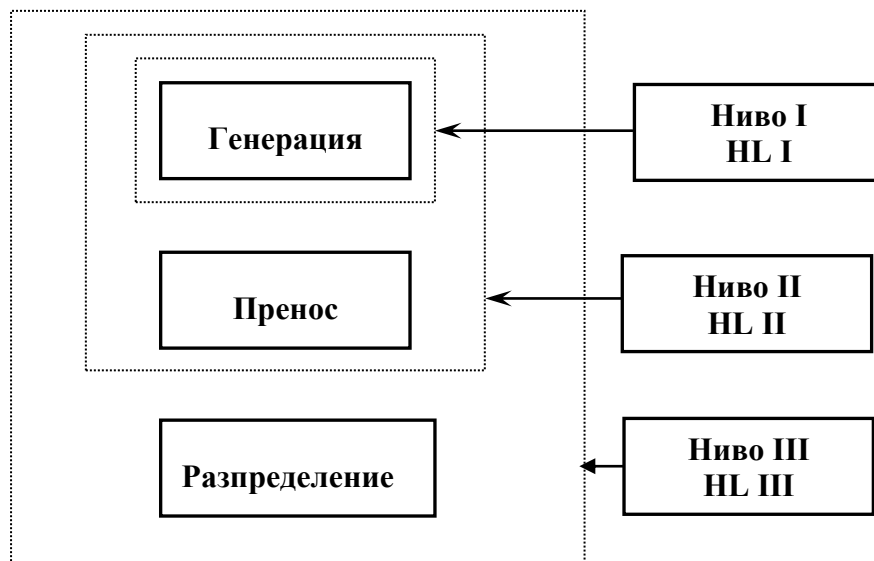
Надеждността на русловите водноелектрически централи спада към ниво I (HLI).

В Ниво I (HLI) се изследва и определя готовността генерацията да покрива товара в системата.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНКА НА НАДЕЖДНОСТТА НА РУСЛОВИ ВОДНОЕЛЕКТРИЧЕСКИ ЦЕНТРАЛИ

ПЪРВАТА ЗАДАЧА за оценката на надеждността е наличие за статистически данни за аварийността на оборудването. Стандарт за събиране на статистически данни за оборудването и изчисляване на показатели за надеждност е въведен от европейския енергиен регулатор [4], а система за събиране на тази информация в Норвегия FASIT (Fault And Supply Interruption information Tool) е описана в [5]. Норвегия FASIT (Fault And Supply Interruption information Tool) е описана в [5].



Фиг.1. Фиг.1.

Трябва да се отбележи, че събираната информация е подходяща да обслужи изчисляваните надеждностните показатели на йерархично ниво III (HL III) - SAIFI, CAIFI, SAIDI, STAIDI, и CAIDI. При оценка на надеждността на оборудването на водноелектрическите централи е по-подходящо използването на някои от модулите на информационните CALS-технология [6], която е разработена за оценка на жизнения цикъл на едно изделие т.е. (Система за събиране и обработка на информацията за качеството и надеждността). За това е необходимо разработване на специализирана система за събиране на информация даваща възможност за оценяване на надеждността и готовността на русловите водноелектрическите централи.

Събираната информация за аварийността по време на експлоатация на оборудването е основният източник, използван при оценката на надеждността. За прилагане на методите за оценка на надеждността е необходимо да има достатъчни и напълно достоверни статистически данни за работата на различните типове оборудване от централата. За целта е необходимо да се формулират изискванията към статистическите данни за авария или прекъсване. Събирането и обработката на тези данни трябва да става в разработени карти на отказите, които се попълват от персонала обслужващ оборудването на централата.

Този документ трябва да включват следната информация:

1. Място на оборудването, тип, фирма производител и дата на въвеждането му в експлоатация.
2. Времето на авария и големините на интервалите на работа и ремонт.
3. Условиата и режима на работа на оборудването.

Особеностите на работа на русловите водноелектрическите централи изисква за оценка на надеждността им събиране на по-детайлна информация за аварийността и функционирането като:

1. Времето на авария и големините на интервалите на работа и ремонт зависещо от:
2. Електротехническото оборудване от централата, като цяло и на съставящите го елементи.
3. Хидротехническото оборудване от централата, като цяло и на съставящите го елементи.
4. Елементи извън оборудването на централата (електропроводи по които се изнася електроенергията и др.), които водят до нарушаване на функционирането на централата.

Определянето на надеждностните характеристики трябва да се предхожда от предварителна обработка на статистическия материал.

Тази обработка може да бъде извършена в следната последователност:

1. От експлоатационните данни се формират статистическите редове на случайната величина на даденото съоръжение. От тези данни се строят хистограмите и статистическите плътности на разпределение.
2. Правят се предположения (хипотези) за закона на разпределение на тези величини.
3. Прилагайки критериите за съгласие, се проверява степента на съгласуваност на статистическата и теоретичната плътност на разпределение на случайните величини.
4. Определят се законите на разпределение и техните параметри.
5. Определят се числените стойности на надеждностните показатели и техният доверителен предел.

На база на функциите ($F(t)$) и плътностите ($f(t)$) на разпределение на времето за присъствие в работно ($R - F_R(t); f_R(t)$) или аварийно състояние ($A - F_A(t); f_A(t)$) за даден елемент или устройство в теорията на надеждността се използват следните показатели (индекси):

- Вероятност за работа (вероятност устройството да се намира в работно състояние);

$$p_R(t) = P(\text{работа в момента } t)$$

- Вероятност за авария;

$$p_A(t) = P(\text{авария(отказ) в момента } t) = P(Z_t = A)$$

- Поток на отказите;

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} P[\text{отказ в } (t, t + \Delta t)] = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} P[(Z_{t+\Delta t} = A) \cap (Z_t = R)]$$

- Интензивност на прехода от работно в аварийно състояние.

$$\begin{aligned} \lambda_{RA}(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} P[\text{отказ в } (t, t + \Delta t) \mid \text{работа в момента } t] = \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} P[(Z_{t+\Delta t} = A) \mid Z_t = R] \end{aligned}$$

- Средно време до авария (средно време за безотказна работа) или очакван срок на работа (експлоатация) (MTTF-mean time to failure);

$$MTTF = m_R = \int_0^{\infty} t \cdot \frac{dF_R}{dt} dt$$

- Средна продължителност на неработно състояние (авария);

$$m_A = \int_0^{\infty} t \cdot \frac{dF_A}{dt} dt$$

- Средна продължителност между откази (MTBF- mean time between failures) или средно време на цикъла;

$$MTBF = m_R + m_A$$

- Коефициент на готовност;

$$A = \frac{MTTF}{MTBF}$$

- Коефициент на неготовност;

$$\bar{A} = 1 - A$$

При оценяване на надеждността на производството на енергия от малки руслови водноелектрически централи е нужно се отчита и влиянието на водните ресурси.

ВТОРАТА ЗАДАЧА е свързана с познаване на хидроложките характеристики определящи мощността и енергията. Такива вероятностни характеристики могат да бъдат получени по косвен път на база на работата на централите за няколко години. Тези вероятностни характеристики могат да бъдат направени за различни типове години (с малко, нормално и голямо наличие на валежи).

ТРЕТАТА ЗАДАЧА за оценката на надеждността е използването на методи за оценка на надеждността [1], [2], [3] [7], [8], [9], [10], [11], [12]. Съществува няколко метода за оценка на надеждността, като:

1. Мрежови (логико – вероятностни) методи, към които могат да бъдат отнесени:
 - 1.1.Метод на минималните пътища и сечения
 - 1.2.Метод на декомпозицията
2. Метода на пространство на състоянията. В основата на този метод лежи теорията на Марковските вериги и процеси. Модификации на този метод са:
3. Метод „честота и продължителност”
 - 3.1.Метод на последователните етапи
 - 3.2.Обединяване на състояния
 - 3.3.Орязване на пространството на състоянията
4. Метод, използващ анализа на сложни събития
5. Метод, използващ съвместната плътност на разпределение
6. Метод, анализ на дървото на отказите
7. Статистическо моделиране на надеждността (Метод Монте Карло)

В зависимост от иерархичното ниво се използват различни показатели.

ЧЕТВЪРТАТА ЗАДАЧА за оценката на надеждността е използването на подходящи показатели за оценка на надеждността. За оценка на надеждността на руслови водноелектрически централи могат да се използват показателите от първото ниво NLI, като вместо вероятностните характеристики на товара се използват вероятностните хидроложки характеристики за мощността и енергията.

ОСНОВНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА НАДЕЖДНОСТ ЗА ПЪРВОТО НИВО NLI СА:

- Вероятност за загуба на товар (LOLP) - Loss of Load Probability или сумарна продължителност на откази (аварии) през разглеждания период;

$$LOLP = \sum_{si \in F} p_{si} \cdot t_{si}$$

- Относителна продължителност на авария на агрегат (FOR) - forced outage rate или коефициент на неготовност;

$$FOR = \frac{\text{Часове в авария}}{(\text{Часове в авария}) + (\text{Часове в работа})} = \frac{LOLP}{T_{\Pi}}$$

- Дефицит на мощност през разглеждания период;

$$\Delta N = \sum_{k=1}^N \Delta N_k P[N_{\text{раб.}} < N_{k,\text{Тов.}}]$$

където $(\Delta N_k = N_{k,\text{Тов.}} - N_{\text{раб.}})$ и $(N_{\text{раб.}} < N_{k,\text{Тов.}})$

- Дефицит на електроенергия през разглеждания период;

$$\Delta W = \sum_{k=1}^N \Delta W_k P[N_{\text{раб.}} < N_{k,\text{Тов.}}],$$

където $(\Delta N_k = N_{k,\text{Тов.}} - N_{\text{раб.}})$ и $(N_{\text{раб.}} < N_{k,\text{Тов.}})$,

$$\Delta W = T_{\text{п}} \Delta N_k$$

- Относителна големина на дефицита на електроенергия през разглеждания период;

$$\Delta \bar{W} = \frac{\Delta W}{W}$$

ЧЕТВЪРТАТА ЗАДАЧА е свързана с използване на изчислените надеждностни показатели за решаване на определени задачи свързани с подобряване на надеждността, а от там с оптимизиране на режима на работа и намаление на загубите от произведена енергия. На първо време могат да бъдат решени следните задачи:

1. Сравнителна оценка на структурната и функционална надеждност на различните руслови водноелектрически централи от каскадата.
2. Изследване съотношението на загубите от нарушаване на функционалната и структурната надеждност.
3. Определяне на ефективността на системата за автоматично управление на централите по сравнение с други системи за управление (дежурен персонал за всяка централа, общ персонал за каскадата или друга организация).
4. Влияние на времето за възстановяване (ремонт) и определяне на ефективността от поддържане на резервно оборудване.
5. Изследване на функционалната надеждност на русловите водноелектрически централи и определяне на мероприятия за повишаването ѝ. Оценка на ефективността на тези мероприятия.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- В статията се разглеждат всичките етапи необходими за да се оцени надеждността на една руслова водноелектрическа централа.
- Разгледани са и какви конкретни задачи могат да бъдат решени с цел подобряване на надеждността, а от там и повишаване на ефективността на функциониране на една руслова водноелектрическа централа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] R. Billinton and R. Allan, Reliability Evaluation of Power Systems. Plenum Press, 1996
- [2] A. Hayland and M. Rausand, System Reliability Theory - Models and Statistical Methods. John Wiley & Sons, Inc., 1994
- [3] R. Billinton, Hau Chen, and Jiaqi Zhou, Individual Generating Station Reliability Assessment, *IEEE Trans. Power System*, Vol. 14, No. 4, pp. 1238-1244, November 1999.
- [4] CEER, 2001, “Quality of electricity supply: Initial benchmarking on actual levels, standards and regulatory strategies”,<http://www.energy-regulators.eu>
- [5] G.Kjolle, Heggset J, Sagen K. FASIT – a tool for collection, calculation and reporting of reliability data, C I R E D, 20th International Conference on Electricity Distribution; Prague, 8-11 June 2009
- [6] A.S.Shalumov, Nikishkin S.I., Noskov V.N. Vvedenie v CALS-tehnologii [Introduction to CALS-technology],Kovrov, 2002.
- [7] Биллинтон Р., Аллан Р. Оценка надежности электроэнергетических систем: пер. с англ. / Под ред. Ю.А. Фокина. М.: Энергоатомиздат,1988. 288 с.
- [8] Волков Г.А. Оптимизация надежности электроэнергетических систем.М.: Наука, 1986. 116 с.
- [9] Ендрени Дж. Моделирование при расчетах надежности в электро-энергетических системах: пер. с англ. / Под ред. Ю.Н. Руденко. М.: Энергоатомиздат, 1983. 336 с.
- [10] Малчев К.М. Надеждност в електроенергетиката. С. ТУ-София 2010.
- [11] Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. ГОСТ 27.002 -89. М.: Изд-во стандартов, 1990. 37 с.

- [12] Руденко Ю.Н., Чельцов М.Б. Надежность и резервирование в электроэнергетических системах. Методы исследований. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1974. 264 с.
- [13] Glossary of Terms Used in Reliability Standarts, North American Electric Reliability Corp. Nov. 2006. URL: <http://www.nerc.com>
- [14] Li W. Risk Assessment of Power Systems: Models, Methods and Applications. IEEE Press, 2005. 325 p.

Автори: Валентин Генев Колев, доц. д-р инж., катедра „Електроенергетика” (ЕЕ), Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail adress: vkolev@tu-sofia.bg ; Васил Шуманов, маг. инж., докторант към катедра „Електроенергетика Електротехнически Факултет, Технически Университет - София

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: доц. д-р инж. Светлана Цветкова

МОДЕЛИРАНЕ НА ПРЕХОДНИ ПРОЦЕСИ ВЪВ ВАКУУМЕН ПРЕКЪСВАЧ ВИСОКО НАПРЕЖЕНИЕ

Валентин Матеев, Росен Танев, Илиана Маринова

Резюме: В работата е изследван електрически разряд във вакуумна камера на прекъсвач за високо напрежение. Моделирано е електрическото и топлинно поле във вакуумната камера при изключване на прекъсвача. В модела се използва електрическата проводимост на дъгата, която зависи от температурата и интензитета на електрическото поле. Получени са резултати за разпределението на температурата и интензитета на електрическото поле в камерата през преходния процес на изключване на прекъсвача.

Ключови думи: Електрическа дъга, моделиране, метод с крайните елементи, електрическо поле, топлинно поле, проводимост на дъгата, вакуумен прекъсвач

MODELING OF SWITCHING-OFF PROCESSES IN VACUUM HIGH VOLTAGE INTERRUPTER

Valentin Mateev, Rosen Tanev, Iliana Marinova

Abstract: In this study the electrical arc discharge in high voltage vacuum interrupter is investigated. Electrical and thermal fields are modeled in the switching off processes of the vacuum interrupter. The electric arc conductivity according to the temperature and electric field intensity is determined in the model. Results for electric and thermal fields in transient switching off processes are obtained.

Keywords: Electrical arc discharge; modeling, finite element method; electric field; temperature field; arc conductivity, vacuum interrupter

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Вакуумните прекъсвачи за високо напрежение намират широко приложение в електроенергийната система. Те имат редицата предимства като висока ефективност на дъгогасене, сравнително проста конструкция, компактни размери, дълъг живот на експлоатация, ниски нива на шум при работа, липса на вредни и взривоопасни газове, малки разходи за поддръжка, висока надеждност и др. Гасенето на дъгата е улеснено многократно при вакуумни камери с налягане под 10^{-4} Pa [1].

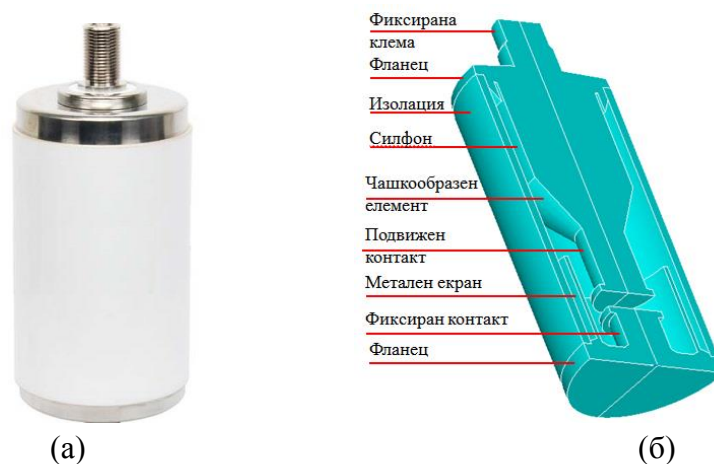
Моделирането на електрически разрядни процеси в комутационите апарати за високо напрежение е от особена важност при проектирането и оптимизацията им. Дъгата, възникваща в преходния процес при прекъсване на веригата, е сложно динамично явление, обединяващо бързи, паралелно протичащи и вза-

имно свързани полета и процеси. Основно това са електрическото и топлинно поле, чиито ефекти служат като теоретична база при оразмеряване и проектиране конструкцията на вакуумните камери. За изследване на тези процеси се прилагат усъвършенствани числени модели [1, 3, 4]. Тези модели позволяват съществено намаляване на времето за проучване, проектиране и разработка на вакуумни прекъсвачи.

В настоящата работа е създаден смесен модел на електрическо-топлинно поле във вакуумна камера на прекъсвач за високо напрежение. В модела се използва електрическата проводимост на дъгата, която зависи от температурата и интензитета на полето. Получени са резултати за разпределението на електрическото и топлинно поле през преходния процес на изключване на прекъсвача.

2. КАМЕРА НА ВАКУУМЕН ПРЕКЪСВАЧ

Общ вид и конструкция на изследваната вакуумна камера модел VS2-ABB са показани на фиг.1. Обявените работни данни на камерата са напрежение $U = 12 \text{ kV}$, ток $I = 400 \text{ A}$. Вътрешното налягане на камерата е под 10^{-6} Pa . Контактните тела в камерата са изработени от обезвъздушена мед с висока топлопроводимост (OFHC), izolацията ѝ е от керамичен материал Al_2O_3 . [5]



Фиг.1. Вакуумна камера VS2-ABB 12 kV
а) общ вид на камерата **б)** конструкция

3. ЕЛЕКТРИЧЕСКО ПОЛЕ

Разпределението на статичното електрическо поле във вътрешността на вакуумната камера при наличие на горяща електрическа дъга се описва с уравнението на Лаплас [2]

$$\nabla(\sigma_a \nabla V) = 0, \quad (1)$$

където σ_a е електрическата проводимост на дъгата, зависи от интензитета на електрическото поле и температурата на дъгата, V - скаларният електрически потенциал.

Интензитетът на електрическото поле се дефинира като

$$E = -\nabla V . \quad (2)$$

Плътноста на тока в дъговия стълб J_a е

$$J_a = \sigma_a E . \quad (3)$$

Електрическата проводимост на дъгата, зависеща основно от свободните електрони в зоната на разряда [6-7], се определя с помощта на израза

$$\sigma_a = ne\mu_e = \frac{ne^2}{m_e v_m} , \quad (4)$$

където n е брой свободни електрони, участващи в разряда, m_e - маса на електрона, v_m - скорост на електрона, μ_e - мобилност на електрона и e - заряд на електрона.

Средната скорост на електрон в областта на дъговия разряд е

$$v_m = -\frac{e}{m_e v_d} E , \quad (5)$$

където v_d е скорост на дрейфа на електрона, която зависи от температурата в областта на електрическия разряд [6-7].

4. ТОПЛИННО ПОЛЕ

Разпределението на температурата T в конструкцията на вакуумната камера е определено от уравнението за топлопроводността [2, 8]

$$\nabla^2 T - \frac{\gamma c}{\lambda} \frac{dT}{dt} = -\frac{Q}{\lambda} , \quad (6)$$

където γ е плътност на материала, c - специфичната топлина, λ - коефициент на топлопроводимост, Q - обемна плътност на източниците на топлина [2].

Основният източник на топлина във вакуумната камера е електрическата дъга. Обемната плътност на източника на топлина в уравнение (6) се изчислява посредством

$$Q = J_a^2 / \sigma_a , \quad (7)$$

където J_a е токовата плътност на електрическата дъга.

Охлаждането на вакуумната камера се извършва посредством конвекция от външната ѝ повърхност. По повърхността на модела (Фиг.2-б) са зададени гранични условия на конвекцията, описани с уравнението

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = -h(T - T_0) , \quad (8)$$

където h е коефициент на топлоотдаване чрез конвекция ($h = 8 \text{ W/m}^2\text{°C}$) и T_0 е температура на околната среда.

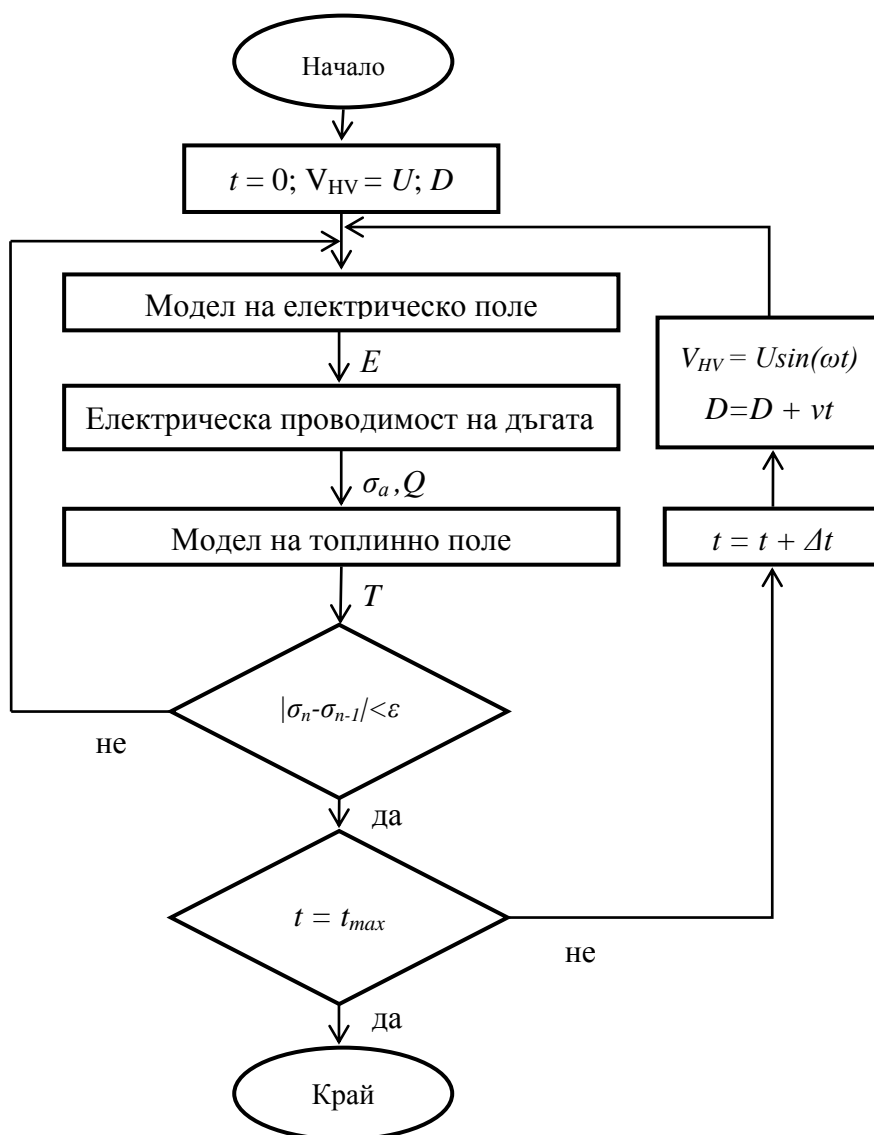
По повърхностите на контактната система (Фиг.2-б) се извършва интензивно топлоотдаване чрез лъчение, определено от уравнението на Стефан-Болцман

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \beta k_B (T^4 - T_0^4), \quad (9)$$

където β е коефициент на лъчение, за контактните части $\beta = 0.15$, за електрическата дъга $\beta = 1$, k_B - константата на Болцман ($k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K).

5. МОДЕЛ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКО-ТОПЛИННО ПОЛЕ

Реализираният алгоритъм на смесената задача електрическо - топлинно поле, е показан на фиг.2.

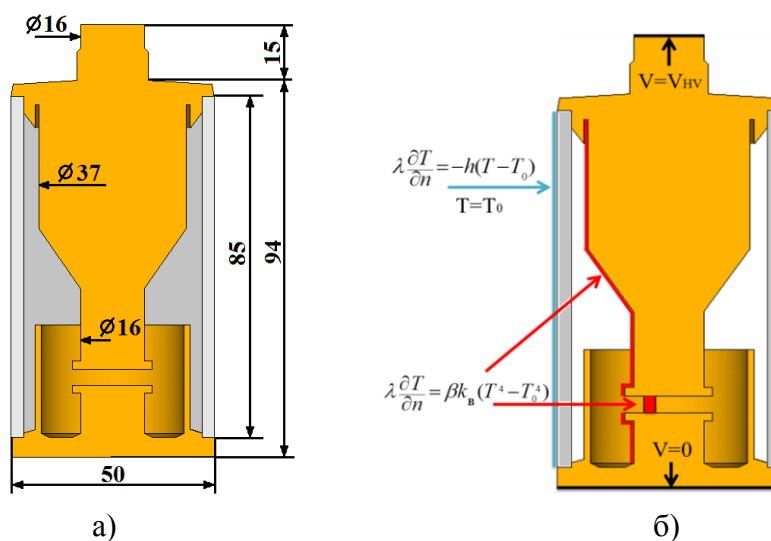


Фиг.2. Блокова схема

Смесеният тип на задачата е двупосочен, електрическото поле се влияе от топлинното и обратно. Използва се индиректен метод, при който задачите се решават отделно една от друга и чрез няколкократни итерации се установява, сходимост на решението по отношение на специфичната електрическа проводимост на дъгата. В случая е използвана релаксационна схема за обновяване на стой-

ностите на специфичната проводимост на дъгата σ_a [2], която се повтаря за всяко времева стъпка.

Моделът е решен постъпково, с фиксирана стъпка във времето Δt . Източниците на топлина се определят от електрическото поле и се използват при изчисляване на топлинното поле. Получените резултати от смесената задача електрическо-топлинно поле температурата в камерата и интензитета на полето се прилагат при изчисляване на проводимостта на електрическата дъга (4), до достигане на $\epsilon \leq 1e-3$. Резултатите за проводимостта служат за определяне на електрическото поле при следващата стъпка във времето $t_n = t_{n-1} + \Delta t$. Моделът се изследва във времеви отрязък от 10 ms (един полупериод при честота от 50 Hz), с времева стъпка $\Delta t = 500 \mu s$. Скоростта на движение на контактната система v е 2 m/s.



Фиг.3. Модел на вакуумната камера
а) конструктивен разрез б) гранични условия

Създаденият модел на електрическо-топлинно поле използва метода с крайни елементи в програмна среда ANSYS 12.1 [9-10]. Конструктивен разрез с размери на изследваната вакуумна камера е показан на фиг.3-а. Приложените при моделирането гранични условия са представени на фиг.3-б. При реализирането на модела за температура на околната среда е приета $T_0 = 20^\circ C$. По външната повърхност на неподвижния контакт е зададен електрически потенциал $V = 0$, а по външната повърхност на подвижния контакт е зададен потенциал $V = u_{HV}(t)$, където $u_{HV}(t)$ е моментната стойност на напрежението върху камерата. За една времева стъпка геометричният модел е дискретизиран на 7 260 елемента. Създаден е отделен блок в областта на горене на дъговия разряд, за който се използва по-гъста мрежа от елементи.

В табл.1 са представени свойствата на материалите, използвани в модела.

Величини за определяне на електрическата проводимост на електрическият дъгов разряд, използвани в уравнение (4), са

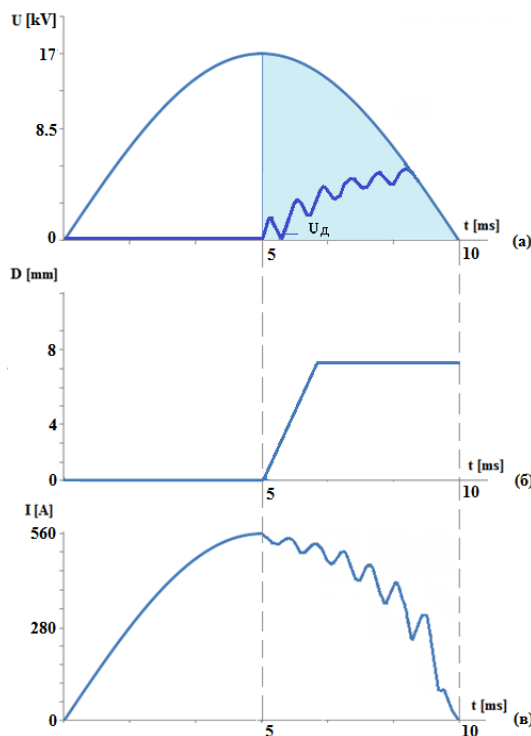
$$n \leq 10^{19} \text{ m}^{-3}, m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}, e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ A.s.}$$

Таблица 1
Свойства на материалите

Камера	Материал	σ S/m	ϵ_r -	γ kg/m ³	c J/kgK	λ W/mK
Работен обем	Вакуум	-	1	-	-	-
Подвижно контактно тяло	Мед OFHC	5.9×10^7	-	8.94	385	401
Фиксирано контактно тяло	Мед OFHC	5.9×10^7	-	8.94	385	401
Изолация	Керамика Al ₂ O ₃	10^{-14}	9.1	3.95	1050	26

6. РЕЗУЛТАТИ

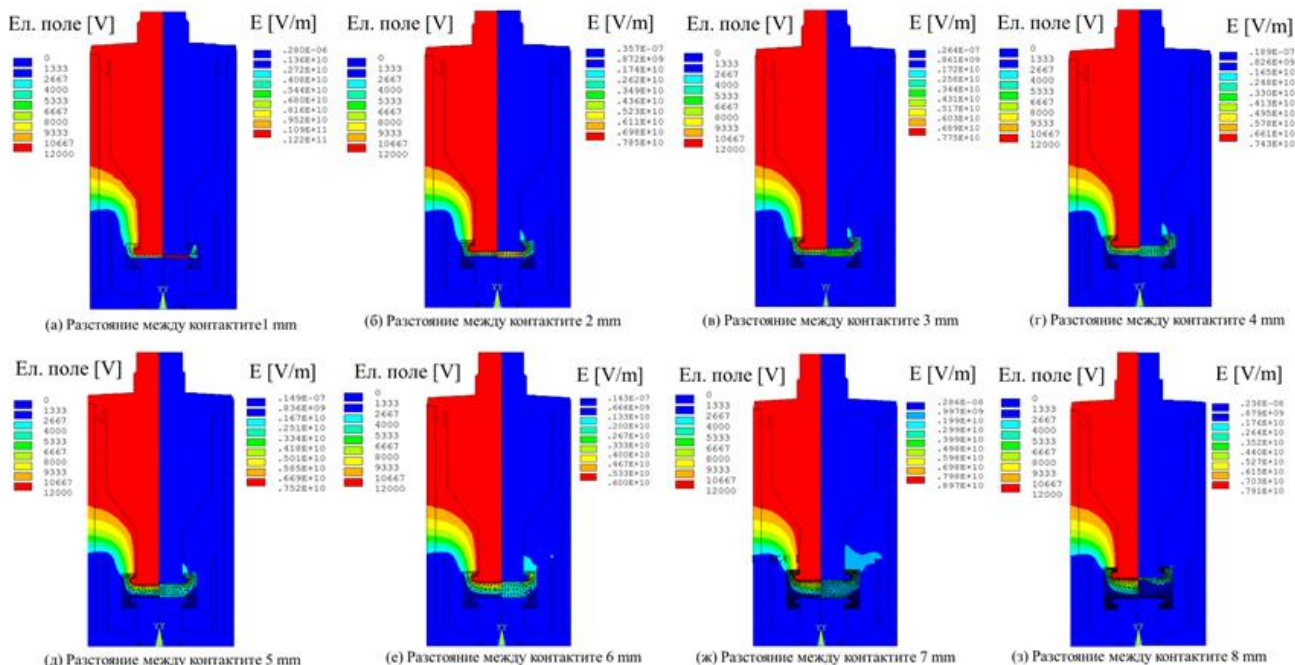
Моделираната вакуумна камера е изследвана при синусоидално напрежение с ефективна стойност 12 kV. На фиг.4 е представен процеса на изключване на камерата под товар. На фиг.4-а е изследваната област от синусоидата на захранващото напрежение. Представена е връзката между разтвора на контактната система D (фиг.4-б), токът на дъгата I (фиг.4-в), и напрежението на електрическата дъга U_д (фиг.4-а) във функция от времето.



Фиг.4. Динамични характеристики на вакуумния прекъсвач при изключване

Изключването на камерата се извършва във втората половина на полупериода на захранващото напрежение, който е с обща продължителност от 10 ms (50 Hz). Моментът на възникване на дъгата t_3 е във времевия отрязък от 5 до 9 ms. Скоростта на раздалечаване на контактите на камерата е 2 m/s.

Резултати за електрическия потенциал и интензитета на електрическото поле, определени в процесът на изключване на камерата, са представени за разстояние между контактните тела от 1 до 8 mm (фиг.5). Захранващото напрежение е 12 kV. В лявата половина на фигурата е представено електрическото поле, а в дясната интензитета на електрическото поле.



Фиг.5. Разпределение на електрическото поле и неговия интензитет във вакуумната камера

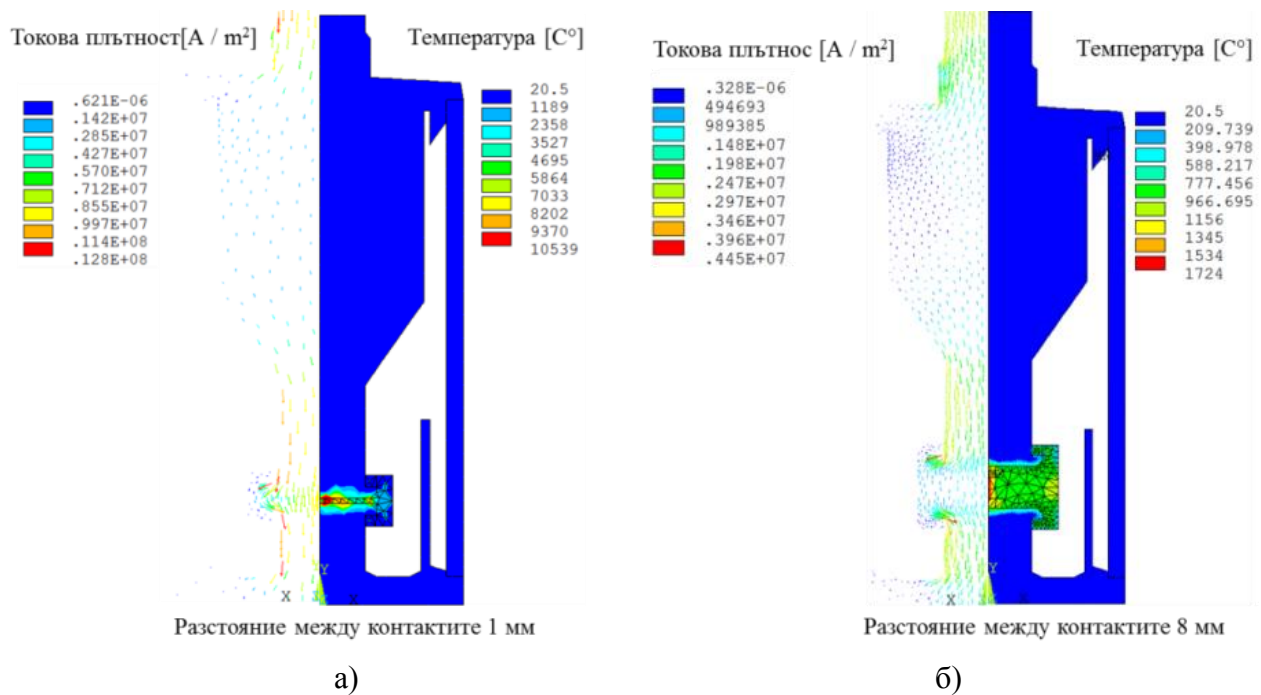
При начално разстояние между контактите на камерата $D=1$ mm, стойността на интензитета на полето е най-голяма, като намалява с увеличаване на разстоянието.

При разстояние между контактите 1 mm и наличие на електрическа дъга, максималната стойност на интензитета на електрическото поле е (E_{max}) е 12.2×10^9 V/m и при разстояние 8 mm, отчетената максимална стойност на интензитета на електрическото поле е 5.2×10^8 V/m.

Получени са резултати за електрическото и топлинно поле през преходния процес на изключване на камерата, при различен момент на запалване на дъгата и различно напрежение (17, 16, 14, 10, 5 kV).

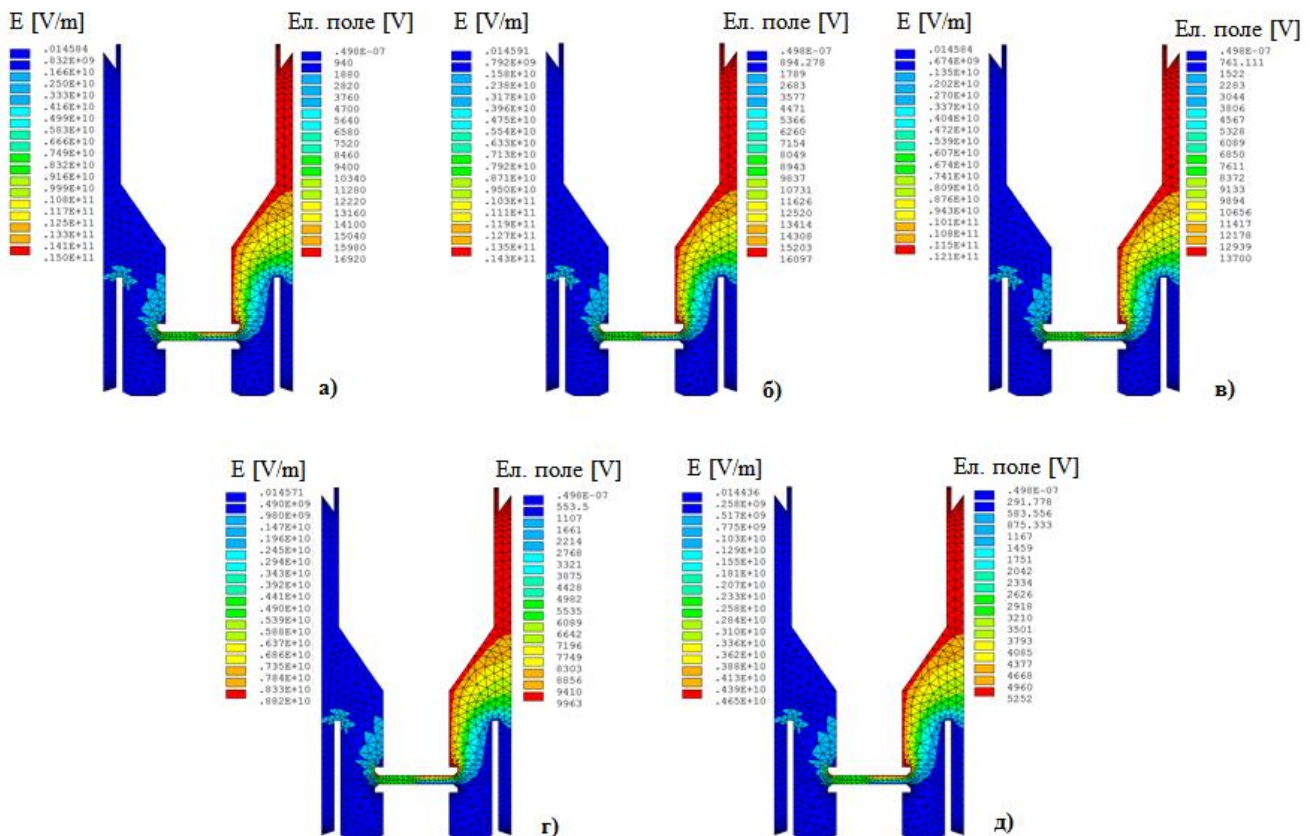
На фиг.6 са представени резултати за топлинното поле и токовата плътност на вакуумния прекъсвач за максимално захранващо напрежение и разстояние 1 и 8 mm.

Най високата температура между контактите е в порядъка на 10 000 °C по време горенето на дъгата при разстояние 1 mm и за разстояние между контактите 8 mm 1700 °C. За контактните тела температурата е в границите 40÷80°C при наличие на дъга.

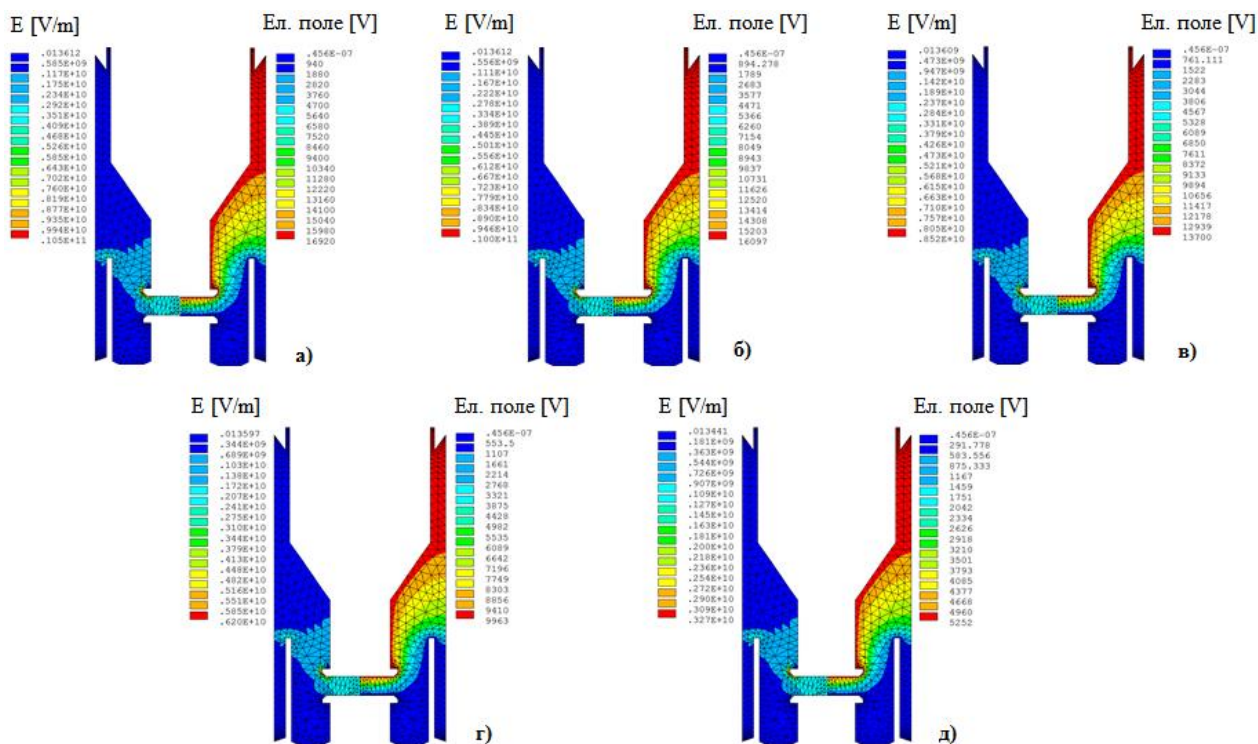


Фиг.6. Резултати за температурата и токовата плътност във вакуумната камера.

На фиг.7- а÷д и фиг.8- а÷д са показани електрическият потенциал и интензитета на полето, които са получени при захранване със синусоидално напрежение за времена, $t = 5, 6, 7, 8, 9$ ms. Представените резултати са за разстояние между контактните тела (D) 2 и 5 mm.



Фиг.7. Разпределение на електрическото поле и неговия интензитет при $D = 2$ mm



Фиг.8. Разпределение на електрическото поле и неговия интензитет $D = 5 \text{ mm}$.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Създаден е модел на електрическо и топлинно поле на вакуумна камера на прекъсвач високо напрежение. Определена е токовата плътност и температурата на камерата по време на изключване на прекъсвача. Резултатите показват електрическото и топлинно натоварване при различни условия и работни режими.

Получените резултати ще се използват за намиране на по-добри конструктивни решения при различни експлоатационни условия. С помощта на модела се ускорява процесът на изследване на различни конструкции, материали и режими на прекъсвача.

8. БЛАГОДАРНОСТИ

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани по договор 142ПД0050-01, от Вътрешния конкурс на ТУ - София - 2014.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Cadick J. (2012), *Predicting the remaining life of vacuum interrupters in the field*, Finley Ledbetter, Group CBS Alan Seidel, 2012
- [2] Yatchev I., I. Marinova (2007), *Numerical Analysis and modeling of circuits and fields*, Technical University of Sofia, 2007
- [3] Marinova I., and V. Mateev (2012), *Inverse source problem for thermal fields, International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, COMPEL, vol. 31, 2012, pp. 996-1006
- [4] Tanev R., V. Mateev, I. Marinova (2013), *Coupled field and circuit modeling of electric arc discharge*, 7th International PhD Seminar on Computational Electromag-

netics and Bioeffects of Electromagnetic Fields – CEMBEF, Niš, Serbia, 2013, pp. 71-74

[5] ABB (1999), *New vacuum interrupters for contactors and switches*, ABB review 03/1999, pp. 32-36

[6] Piel A. (2010), *Plasma physics, an introduction to laboratory, space and fusion plasmas*, Springer Science & Business Media, 2010

[7] Nakano Y., H. Kojima, K. Tsuchiya, H. Okubol (2014), *Pre-discharge and flash-over characteristics of impulse surface discharge in vacuum, dielectrics and electrical insulation*, IEEE transactions of Dielectrics and Electrical Insulation, vol.21, 2014, pp. 403-410

[8] Krouchinin A., A. Sawicki (2003), *A theory of electrical arc heating*, издадена от Technical University of Czestochowa, 2003

[9] ANSYS Inc., ANSYS Release 12.1, Documentation Manual. 2010

[10] Mateev V., R. Tanev, I. Marinova, *Simulation of electric and thermal fields of high voltage interrupter vacuum chamber*, Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Bulgaria, 2014, pp. 133-136

Автори: Валентин Матеев, маг. инж. главен асистент, катедра „Електрически апарати“, Електротехнически Факултет, Технически университет - София, E-mail adress: vmateev@tu-sofia.bg; Росен Танев, маг. инж., докторант в катедра „Електрически апарати“ Електротехнически факултет Технически университет - София, E-mail adress: rtanev@tu-sofia.bg; Илиана Маринова проф. дтн. инж. катедра „Електрически апарати“ Електротехнически Факултет Технически университет - София, E-mail adress: iliana@tu-sofia.bg .

Постъпила на 15.12.2014 г.

Рецензент: проф. дтн инж. Райна Ценева