

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор“

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Атанас Тодоров Захов

Тема на дисертационния труд: Интелигентните мрежи и съвременният град

Рецензент: доц. д-р Светлана Георгиева Цветкова

Маг. инж. Атанас Тодоров Захов е роден на 13.12.1992 г. В периода от 2011 до 2015 г. се обучава в специалност „Автоматизация, информационна и управляваща техника“ в Технически университет - София, филиал Пловдив и придобива ОКС „Бакалавър“. От 2015 до 2018 се обучава в специалност „Електроенергетика и електрообзавеждане“ на ТУ-София, Електротехнически факултет и придобива ОКС „Магистър“.

Маг. инж. Захов, след проведен конкурс през 2019 г., със Заповед №744/12.03.2019 г. е зачислен за докторант, в задочна форма на обучение към катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“ на ТУ-София, по професионално направление 5.2 „Електротехника, електроника и автоматика“, докторска програма „Електроснабдяване и електрообзавеждане на промишлеността“. Научният му ръководител е доц. д-р инж. Николай Стефанов Матанов.

Докторантът изпълнява индивидуалния си план, полага успешно предвидените изпити, участва в научни форуми, представяйки основните резултати от работата си по дисертационния труд. Отчислен е с право на защита със Заповед №3204/12.10.2023 г.

От 2014 г. до сега маг. инж. Захов работи в ЕРМ Запад АД (ЧЕЗ Разпределение АД), като последователно заема позициите: техник мерене ниско напрежение (2014 г.), отчетник измервателни уреди (2015-2016 г.), координатор отчитане на данни (от 11. 2016 г.).

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение. Степен и нива на актуалността на проблема и конкретните задачи разработени в дисертацията.

Последните години се наблюдава тенденция на непрекъснато развитие и усъвършенстване на цифровите технологии, както в бита, така и в индустрията. Предимствата на тези технологии позволяват на традиционната електроснабдителна мрежа да еволюира в интелигентна мрежа, чрез която да се осъществява контрол и управление както от електроснабдителните компании, така и от потребителите на електрическа енергия. Наблюдава се ръст на производството на електрическа енергия от възобновяеми енергийни източници (ВЕИ), както и използването на електрически автомобили. Всичко това създава редица проблеми, които следва да се решават в процеса на производство, пренос, разпределение и потребление на електрическата енергия.

Правилно целта на дисертацията е формулирана като повишаване на ефективността на разпределителните мрежи, запазващи силно урбанизирани райони, чрез прилагане на интелигентни мрежи и управление на електрическите товари. Задачите, които са поставени в дисертационния труд и се решават са: разработване на математически модели, алгоритми и програми за изследване на зарядни станции на електрически автомобили; разработване на алгоритми и компютърни програми за управление на работата на група зарядни станции; разработване на методика и алгоритми за управление на електрическите товари в жилищни сгради; оптимизиране на потреблението на електрическа енергия в жилищни сгради.

Изложеното потвърждава, че темата на дисертацията е актуална както в научно, така и в научно-приложно отношение. Получените резултати, предложените модели, алгоритми и програми могат да се използват при проектирането и експлоатацията на интелигентни разпределителни мрежи.

2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал.

Състоянието на проблема е представено в първа глава на дисертационния труд. Анализирани са общо 107 литературни източника на латиница, от които 13 интернет страници. Всички са публикувани в периода от 2000 до 2023 година включително. Направен е критичен анализ на литературните източници по въпросите засягащи разработката. От анализа са направени изводи, поставена е целта и са формулирани задачите за постигане на целта на дисертационния труд. Целта и задачите са правилно формулирани, значими са и съответстват на нивото и изискванията за придобиване на ОНС „доктор“.

Считам, че докторантът познава добре състоянието на проблема, като оценява творчески литературния материал и интерпретира адекватно известните досега резултати, за нуждите на собственото му изследване. Това му е дало възможност да формулира ясна цел и задачи на дисертационния труд.

3. Съответствие на избраната методика на изследване и поставената цел и задачи на дисертационния труд с постигнатите приноси

Основните методи на работа, използвани при решаването на поставените задачи в дисертационния труд от автора са теоретичен анализ, моделиране, симулация, аналитични методи. Разработени са симулационни модели, алгоритми и компютърни програми, работещи в среда Matlab/Simulink.

Разработените модели, алгоритми и програми отговарят на целта и задачите на дисертационния труд, адекватни са и са полезни за практиката, както на етап проектиране, така и при експлоатацията и управлението на съществуващи разпределителни мрежи. Разработени са две лабораторни упражнения, които могат да се използват в учебния процес.

Оценявам, че методите за изследване, избрани от автора са съвременни, основават се на добре известни и утвърдени в научната практика методи и технически средства, което е предпоставка за достоверност на получените резултати. Резултатите са представени и коментирани достатъчно подробно и потвърждават съответствието на избраната методика на изследване с формулираните цел и задачи.

4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд.

Дисертационният труд е разработен в обем от 111 страници изложение и 13 страници приложения. Съдържа 51 фигури, 14 таблици и са използвани 107 литературни източника. Структурата му включва съдържание, списък на фигури, списък на таблици, списък на използваните съкращения, увод, четири глави, заключение с обобщение на приносите към труда, списък на цитираната литература и 2 приложения. Авторът е приложил списък с 5 публикации, свързани с дисертационната работа.

В първа глава е направено проучване и анализ на развитието на разпределителните мрежи в градовете – тенденции за преход от конвенционални към интелигентни мрежи и проблеми, които се пораждат. Авторът посочва, че преходът към интелигентни мрежи в България е в начален етап, броят на електрическите автомобили през последната година (2023 г.) нараства, но все още е малък. Сградите и домакинствата се явяват един от основните консуматори на електрическа енергия, при които има значителен ресурс за

повишаване на ефективното използване на електрическата енергия, чрез използване на ВЕИ, както за собствени нужди, така и за продажба на електрическа енергия на електроснабдителните дружества. Това налага усъвършенстване на използваните системи и алгоритми за управление, за да могат да се използват възможностите на интелигентните мрежи. Формулирани са целта и задачите, които се решават в дисертационния труд.

Втора глава има за задача моделиране на работата на зарядни станции на електрически автомобили. Разработен е модел в среда Matlab/Simulink на зареждане и разреждане на Li-ion батерия, захранвана от идеален източник на напрежение. Моделът дава възможност за регулиране на тока на зареждане и разреждане на батерията. Разработена е управляваща система на постояннотоков регулатор за работа на батерията в два режима - G2V (Grid to Vehicle) и V2G (Vehicle to Grid). Разработен е модел в среда Matlab/Simulink на зарядна станция, захранвана от мрежата с регулиране на тока на зареждане и разреждане на батерията на електрическия автомобил в двата режима на работа. За верификация на работата на разработените модели се използват два подхода: верифициране на работата на отделните подсистеми на базата на изпълнението на очакваните от тях функции, описани в литературата и чрез баланс на мощностите в отделните възли. Авторът посочва, че анализа показва адекватна работа на моделите, което позволява използването им за изследователски цели. Разработените модели могат да се използват за разработване и тестване на алгоритми и програми за управление на група зарядни станции. Разработени са две лабораторни упражнения (дадени в Приложение 2) за използване на двата модела на зарядни станции в учебния процес – за обучение на студентите от ОКС „Магистър“ и докторанти.

В трета глава е направена класификация на типовете управление на натоварването на група зарядни станции за електрически автомобили. Разработен е алгоритъм за управление на група зарядни станции от тип IV – интелигентно управление на зарядни станции. За оценка на работата на алгоритъма е разработен в среда Matlab/Simulink/Simscape/Electrical модел на захранване на сграда и зарядни станции с ограничена захранваща мощност и променлив товаров график. Направена е верификация на алгоритъма при два варианта на работа на модела – без и с ограничение на цената на електрическата енергия. Резултатите от симулациите показват коректна работа на модела. Разработеният алгоритъм и приложения могат да се използват при управлението на зарядната инфраструктура за електрически автомобили.

В четвърта глава е синтезирана блокова схема на интелигентна система за енергиен мениджмънт на жилищна сграда. Разработен е алгоритъм за управление на потреблението на електрическа енергия в жилищни сгради, който е в основата на изграждането на една интелигентна система за енергиен мениджмънт. За оптимизиране на товаровия график на потребление на електрическата енергия в жилищни сгради са съставени целеви функции за оптимизиране на разходите за електрическа енергия за два варианта - захранване само от обществената електроснабдителна мрежа и захранване от собствена фотоволтаична централа с възможност за съхранение на енергия и връзка с електроснабдителната мрежа.

Дисертацията завършва с конкретизиране на приносите на дисертационния труд, като те са класифицирани като научно-приложни и приложни приноси.

Всичко това ми дава основание да приема, че материалът върху който се градят приносите е достатъчен като количество и качество.

5. Научни и научно-приложни приноси на дисертационния труд

В дисертационният труд са формулирани 3 научно-приложни и 5 приложни приноса. Потвърждавам претендираните от докторанта приноси. Разработени са модели, алгоритми и програми за повишаване на ефективността на разпределителните мрежи чрез прилагане на интелигентни мрежи и управление на електрическите товари.

Използвани са съвременни софтуерни продукти. Предложените модели са апробирани в симулационната среда на Matlab/Simulink. С разработените лабораторни упражнения се дава възможност за приложение на създадените софтуерни продукти за провеждане на изследвания.

В обобщен вид приносът на дисертационния труд може да бъде определен като разширяване и обогатяване на познанията в областта на развитието на градските разпределителни мрежи, трансформацията им в интелигентни мрежи и повишаване на енергийната ефективност. Разработените в работата модели, алгоритми и компютърни програми могат да се използват на етап проектиране и при експлоатацията.

Основните приноси на представения дисертационен труд могат да се обобщят в следното: доказване с нови средства на съществени нови страни в съществуващи научни проблеми и теории; създаване на модел, метод на изследване; получаване на потвърдителни факти. Възможностите за приложимост на резултатите от научната и изследователската дейност на докторанта е висока. Това се вижда от броя на цитиранията на публикации на докторанта (50 цитирания).

Приемам претенциите на докторанта посочени като научно-приложни и приложни приноси. Направените изводи и заключения отговарят на полученото в дисертацията.

6. Оценка на степента на личното участие на дисертанта в приносите.

Оценявам степента на лично участие на докторанта в така формулираните приноси като много висока. Публикациите, авторският им състав и форумите, на които са изнесени показват, че посочените приноси са лично дело на докторанта или с решаващото му участие. Не откривам плагиатство.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Списъкът с публикациите на автора по темата на дисертационния труд включва 5 публикации в съавторство: 2 с един съавтор и 3 с двама съавтора. Публикациите са представени на Electrical Engineering Faculty Conference, съответно BulEF2019, BulEF2020, BulEF2021, BulEF2022, BulEF2023 и са налични в базата данни SCOPUS. Представените публикации са по показател Г7 (общо 79,98 точки) на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ-София и имат общо 50 броя цитирания (Д12 общо 500 точки). Авторът е с h-index 3. Публикационната дейност на маг. инж. Атанас Захов покрива минималните изисквания за ОНС „доктор“. Това ми дава основание да приема, че резултатите от работата на докторанта в достатъчна степен са представени на научната общност.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика

Считам, че предложеният дисертационен труд представлява една задълбочена научно-изследователска разработка. Разработените две лабораторни упражнения дават възможност за прилагане на резултатите от дисертацията (разработени, модели, алгоритми и програми) в обучението на студентите и докторантите.

9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд.

Авторефератът е изготвен съгласно изискванията на ЗРАСРБ и ППЗРАСРБ. Съдържанието му следва напълно това на дисертационния труд и адекватно отразява основните положения и приноси на дисертационния труд.

10. Мнения, препоръки и бележки

Дисертационният труд разглежда проблеми, свързани с развитието на разпределителните мрежи чрез прилагане на интелигентни мрежи и управление на

електрическите товари. Освен практическата страна, дисертационния труд има и образователна, свързана със задълбоченото познаване на засегнатите въпроси. На предварителното обсъждане на дисертационния труд отправих редица препоръки по оформлението, структурата, изложението, приносите и др., които са напълно или частично изпълнени. Забележките и препоръките, които мога да направя са:

- В текста има неточности от технически характер (правописни и стилови грешки).
- Считаю, че би могло при оформянето на отделните глави на дисертационния труд, те да са равностойни. Обемът на първа и втора глава е много голям в сравнение с трета и четвърта глава.
- Да продължи изследванията в тази област и в бъдеще, като работи за внедряване на разработените модели, алгоритми и програми.
- Да публикува самостоятелни публикации в реферирани и индексирани издания.

11. Заключение

В заключение считам, че дисертационният труд има научно-приложна стойност и показва знания по разглежданите въпроси. Поставената в дисертационния труд цел е постигната, предложеният материал е достатъчен по съдържание, обем и ниво и удовлетворява изискванията на ЗРАСРБ и на ПУРПНС в ТУ–София.

Като имам предвид всичко казано по-горе, давам **положителна оценка** на дисертационния труд. Това ми дава основание да предложа на уважаемото Научно жури да присъди образователната и научна степен **„доктор” на маг. инж. Атанас Годоров Захов**, в област на висше образование 5. „Технически науки“, професионално направление 5.2 „Електротехника, електроника и автоматика“, научна специалност „Електроснабдяване и електрообзавеждане на промишлеността”.

30.09.2024 г.
София

Рецензент:
(доц. д-р инж. Светлана Цветкова)

R E V I E W
**on a PhD thesis for the awarding of an educational and
scientific degree "PhD"**

Author of the PhD dissertation: M.Sc. Eng. Atanas Todorov Zahov

Topic of the PhD thesis: Smart grids and the modern city

Reviewer: Assoc. Prof. PhD Svetlana Georgieva Tzvetkova

M. Sc. Atanas Todorov Zahov was born on 13.12.1992. From 2011 to 2015, he studied in the "Automation, Information and Control Technology" specialty at the Technical University of Sofia, Plovdiv branch, and obtained a Bachelor's degree. From 2015 to 2018, he studied in the "Electrical Power Engineering and Electrical Equipment" specialty at the Technical University of Sofia, Faculty of Electrical Engineering, and obtained a Master's degree.

After a competition held in 2019, M. Sc. Zahov was enrolled as a doctoral student, with Order No. 744/12.03.2019, in a part-time form of study at the Department of "Electricity Supply, Electrical Equipment, and Electrical Transport" of the Technical University of Sofia, in professional field 5.2 "Electrical engineering, electronics, and automation", the doctoral program "Power supply and electrical equipment of the industry." His scientific supervisor is Associate Professor Nikolay Stefanov Matanov, Ph.D., Eng.

The doctoral student fulfills his individual plan, successfully passes the scheduled exams, participates in scientific forums, presenting the main results of his work on the PhD thesis. He was deregistered with the right of defense by Order No. 3204/12.10.2023.

From 2014 until now, M.Sc. Eng. Zahov has worked at ERM Zapad AD (CHEZ Razpradelenie AD), successively holding the positions of low voltage measurement technician (2014), meter recorder (2015-2016), and data reporting coordinator (from 11. 2016).

1. Relevance of the problem developed in the dissertation in scientific and scientific-applied terms. Degree and scale of the actuality of the problem and the specific tasks developed in the PhD thesis.

Recent years have revealed a trend of continuous development and improvement of digital technologies, both in the domestic and in industry areas. The advantages of these technologies allow the traditional electricity supply network to evolve into a smart grid through which control and management can be carried out by both electricity supply companies and electricity consumers. There is a growth in the production of electricity from renewable energy sources (RES), as well as the use of electric cars. All this creates several problems that should be solved in the process of production, transmission, distribution, and consumption of electrical energy.

Rightly, the aim of the PhD dissertation is formulated as increasing the efficiency of distribution networks supplying highly urbanized areas by implementing smart grids and electrical load management. The tasks that are set in the PhD thesis and are solved are the development of mathematical models, algorithms, and programs for the study of electric vehicle charging stations; the development of algorithms and computer programs for managing the operation of a group of charging stations; development of methodology and algorithms for managing electrical loads in residential buildings; optimization of electricity consumption in residential buildings.

The above confirms that the topic of the dissertation has a high degree of relevance both in scientific and scientific-applied terms. The obtained results, proposed models, algorithms, and programs can be used in the design and operation of intelligent distribution networks.

2. Degree of knowledge and understanding of the state of the problem and creative interpretation of the literary material.

The state of the problem is presented in the first chapter of the PhD dissertation. A total of 107 literary sources in Latin were analyzed, of which 13 were internet addresses. All were published in the period from 2000 to 2023. A critical analysis of the literary sources on the issues relevant to the topic of the thesis was made. Conclusions have been drawn from the analysis, the goal has been set and the tasks for achieving the goal of the dissertation work have been formulated. The purpose and tasks are correctly formulated, they are significant and correspond to the level and requirements for awarding the educational and scientific degree "PhD"

I believe that the doctoral student knows the state of the problem well, creatively evaluates the literary material, and adequately interprets the results known so far, for the needs of his own research. This has given him the opportunity to formulate a clear goal and tasks for the PhD dissertation.

3. Correspondence of the chosen research methodology and the set goal and tasks of the dissertation with the contributions achieved.

The main working methods used in solving the tasks set in the dissertation work by the author are theoretical analysis, modeling, simulation, and analytical methods. Simulation models, algorithms, and computer programs running in Matlab/Simulink environment have been developed.

The developed models, algorithms, and programs that correspond to the purpose and tasks of the dissertation work are adequate and useful for practice, both at the design stage and in the operation and management of existing distribution networks. Two laboratory exercises have been developed that can be used in the learning process.

I appreciate that the research methods chosen by the author are modern, and based on well-known and established scientific practice methods and technical means, which is a prerequisite for the reliability of the obtained results. The results are presented and commented on in sufficient detail and confirm the compliance of the chosen research methodology with the stated goals and objectives.

4. A brief analytical characterization of the nature and assessment of the credibility of the material on which the contributions of the dissertation are based.

The PhD dissertation was developed in a volume of 111 pages of exposition and 13 pages of appendices. Contains 51 figures, 14 tables, and 107 literary sources. Its structure includes a table of contents, a list of figures, a list of tables, a list of abbreviations used, an introduction, four chapters, a conclusion with a summary of the contributions of the work, a list of cited literature, and 2 appendices. The author has attached a list of 5 publications related to the dissertation work.

In the first chapter, a study and analysis of the development of distribution networks in cities is made - trends for the transition from conventional to intelligent networks and problems that arise. The author points out that the transition to smart grids in Bulgaria is at an initial stage, the number of electric cars in the last year (2023) is growing but is still small. Buildings and households are one of the main consumers of electrical energy, where there is a significant resource for increasing the efficient use of electrical energy, through the use of RES, both for their own needs and for the sale of electrical energy to the electricity supply companies. This requires improvement of the used systems and control algorithms to be able to use the capabilities of smart grids. The purpose and tasks that are solved in the dissertation work are formulated.

The second chapter has the task of modeling the operation of charging stations for electric cars. A model in Matlab/Simulink environment of charging and discharging of a Li-ion battery powered by an ideal voltage source is developed. The model makes it possible to adjust the charging and discharging current of the battery. A DC regulator control system has been developed for battery operation in two modes - G2V (Grid to Vehicle) and V2G (Vehicle to Grid). A model has been developed in the Matlab/Simulink environment of a charging station powered by the network with the regulation of the charging and discharging current of the battery of the electric vehicle in both modes of operation. Two approaches are used to verify the operation of the developed models: verification of the operation of the individual subsystems based on the performance of their expected functions, described in the literature, and by power balance in the individual nodes. The author indicates that the analysis shows adequate operation of the models, which allows their use for research purposes. The developed models can be used to develop and test algorithms and programs for managing a group of charging stations. Two laboratory exercises (given in Appendix 2) have been developed for using the two models of charging stations in the educational process - for training the students of the Master's course and doctoral students.

In the third chapter, a classification of the types of load management of a group of charging stations for electric vehicles is made. An algorithm has been developed for the management of a group of charging stations of type IV - intelligent management of charging stations. To evaluate the performance of the algorithm, a model of the power supply of a building and charging stations with limited power supply and variable load schedule was developed in Matlab/Simulink/Simscape/Electrical environment. Verification of the algorithm was made in two versions of the model - without and with a limit on the price of electricity. The results of the simulations show the correct operation of the model. The developed algorithm and applications can be used in the management of the charging infrastructure for electric vehicles.

In the fourth chapter, a block diagram of an intelligent system for energy management of a residential building is synthesized. An algorithm has been developed for managing the consumption of electrical energy in residential buildings, which is the basis for the construction of an intelligent energy management system. To optimize the load schedule of electricity consumption in residential buildings, objective functions have been compiled to optimize electricity costs for two options - power supply only from the public electricity supply network and power supply from its photovoltaic plant with the possibility of energy storage and connection to the power supply network.

The dissertation ends with a specification of the contributions of the dissertation work, which are classified as scientific-applied and applied contributions.

All this gives me a reason to assume that the material on which the offerings are built is sufficient in terms of quantity and quality.

5. Scientific and/or scientific-applied contributions of the dissertation.

In the PhD dissertation, 3 scientific-applied and 5 applied contributions are formulated. I confirm the contributions claimed by the PhD student. Models, algorithms, and programs have been developed to increase the efficiency of distribution networks by implementing smart grids and managing electric loads. Modern software products are used. The proposed models are tested in the Matlab/Simulink simulation environment. With the developed laboratory exercises, it is possible to apply the created software products for conducting research.

In summary, the contribution of the dissertation work can be defined as expanding and enriching knowledge in the field of the development of urban distribution networks, their transformation into smart networks, and increasing energy efficiency. The models, algorithms, and computer programs developed in the work can be used at the design stage and during operation.

The main contributions of the presented dissertation work can be summarized in the following: proving with new means essential new sides in existing scientific problems and theories; model creation, research method; and obtaining corroborating facts. The possibilities of applicability of the results of the doctoral student's scientific and research activity are high. This is evident from the number of citations of the PhD student's publications (50 citations).

I accept the doctoral student's claims as scientific-applied and applied contributions. The drawn conclusions and conclusions correspond to what was obtained in the dissertation.

6. Assessment of the degree of personal involvement of the PhD student in the contributions.

I assess the degree of personal involvement of the doctoral student in the contributions formulated in this way as very high. The publications, their authorship, and the forums in which they were presented show that the mentioned contributions are the personal work of the doctoral student or his decisive participation. I didn't find plagiarism in his work.

7. Assessment of the publications on the PhD thesis

The author's list of publications on the topic of the dissertation includes 5 co-authored publications: 2 with one co-author and 3 with two co-authors. The publications were presented at the Electrical Engineering Faculty Conference, BuLEF2019, BuLEF2020, BuLEF2021, BuLEF2022, and BuLEF2023 respectively, and are available in the SCOPUS database. The presented publications are according to indicator D7 (total 79.98 points) of the Regulations for the conditions and procedures for acquiring scientific degrees in the Technical University of Sofia and have a total of 50 citations (E12 total 500 points). The author has an h-index of 3. The publishing activity of M. Sc. Atanas Zahov meets the minimum requirements for PhD degree. This gives me reason to assume that the results of the doctoral student's work have been sufficiently presented to the scientific community.

8. Using the results of the dissertation work in scientific and social practice

I believe that the proposed dissertation work represents an in-depth research development. The developed two laboratory exercises provide an opportunity to apply the results of the dissertation (developed, models, algorithms and programs) in the education of students and doctoral students.

9. Assessment of the compliance of the abstract with the requirements for its preparation, as well as the adequacy of reflecting the main points and contributions of the dissertation work.

The abstract has been prepared in accordance with the requirements of the Law for the Development of Academic Staff in the Republic of Bulgaria and the Regulations for its implementation. Its content fully follows that of the dissertation and adequately reflects the main points and contributions of the dissertation.

10. Opinions, recommendations and remarks

The dissertation examines problems related to the development of distribution networks through the application of smart networks and management of electric loads. In addition to the practical side, the dissertation work also has an educational side, related to the in-depth knowledge of the issues involved. At the preliminary discussion of the dissertation work, I made a number of recommendations on the layout, structure, exposition, contributions, etc., which have been fully or partially implemented. The comments and recommendations I can make are:

- The text contains inaccuracies of a technical nature (spelling and stylistic errors).

- I believe that it would be possible for the individual chapters of the dissertation to be equal. The volume of the first and second chapters is very large compared to the third and fourth chapters.
- To continue research in this area in the future, working to implement the developed models, algorithms and programs.
- To publish independent publications in refereed and indexed editions.

11. Conclusion

In conclusion, I believe that the dissertation work has a scientific-applied value and shows knowledge of the issues under consideration. The goal set in the dissertation work has been achieved, the proposed material is sufficient in terms of content, volume, and level and meets the requirements of the Law for the Development of Academic Staff in the Republic of Bulgaria and the Regulations for its implementation in the Technical University of Sofia.

Taking into account everything said above, I give a **positive assessment** of the dissertation work. This gives me grounds to propose to the respected Scientific Jury to award the educational and scientific degree "**PhD**" to **M.Sc. Eng. Atanas Todorov Zahov**, in the field of higher education 5. "Technical sciences", professional field 5.2 "Electrical engineering, electronics and automation", scientific specialty "Electricity supply and electrical equipment of industry".

30.09.2024
Sofia

Reviewer:
(Assoc. Prof. PhD Svetlana Tzvetkova)