



## РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор”

**Автор на дисертационния труд:** маг. инж. Мирослав Красимиров Андреев

**Тема на дисертационния труд:** „Проектиране и изследване на зарядна система за електромобили”

Област на висше образование: 5. Технически науки; Професионално направление: 5.2 Електротехника, електроника и автоматика; Научна специалност: „Микроелектроника”

**Рецензент:** проф. д-р Анатолий Трифонов Александров – ТУ-Габрово

### 1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение.

Превозните средства са жизненоважни в ежедневието на хората, като значително нараства използването на електрически превозни средства. Развитието на технологиите при производството на батерии, както и редица икономически и екологични фактори са предпоставка за засилване на интереса към електрическите автомобили. Бързото им развитие увеличава необходимостта от електрическа енергия, което води до допълнително натоварване на обществената електрическа мрежа, от една страна, и до възпрепятстване на разпространението на електромобилите, от друга.

Увеличаващият се парк от електрически превозни средства изисква усъвършенствани системи за зареждане и подобряване на електрическата мрежа. Зарядните системи изискват специална топология на силовите електронни устройства, стратегия за управление и международни стандарти за зареждане, както и взаимно свързване на мрежата, за да се осигури оптимална работа и да се подобри поддръжката на мрежата.

В дисертационния труд са анализирани съвременните технически средства на зарядните станции, структурата на зарядната станция, схемотехнични решения за осигуряване на по-добри статични и динамични свойства на мощните преобразувателни устройства, свързани с товара и източника на захранване. Извършено е проучване на интелигентни системи за зареждане и разреждане на батерии. Представени са и са изследвани зарядните системи, базирани на микрогазови турбини. Всичко това определя актуалността на изследвания проблем, целта и задачите на дисертационния труд както от научно-приложна, така и от приложна гледна точка.

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

Литературният обзор е насочен конкретно към изследваната тематика и показва недвусмислено, че маг. инж. Мирослав Красимиров Андреев познава много добре състоянието на проблема в теоретично и практическо отношение. Цитирани са общо 153 литературни източника, като 148 от тях са на латиница, а останалите са интернет адреси.



Извършени са оценка и критичен анализ на текущото състояние на зарядните системи за електромобили, въз основа на което е дефинирана целта на настоящата дисертационна работа - моделиране, проектиране и изследване на зарядна система за бърз заряд за електромобили, реализирана на базата на микрогазова турбина със синхронен генератор с постоянни магнити и суперкондензатор.

За постигане на поставената цел са решени следните задачи: изследване на схемни решения за реализация на топологии на силови преобразуватели, суперкондензатори и хибридни системи за съхранение на енергия, както и анализ на процесите за управление на зарядна система за електромобили; проектиране, изследване и реализиране на постояннотоков преобразувател с комутация при нулево напрежение; разработване на симулационни модели за верификация на резултатите от теоретичния анализ на преобразувателя; предложение на метод за проектиране и управление на изследваните преобразуватели; разработване и изследване на зарядна система за бърз заряд на батериите на електромобили на базата на микрогазова турбина и суперкондензатор. Изследвана е работата на зарядни системи при различни товарни цикли и режими на зареждане на товара и взаимните влияния между тях. Получени са аналитични зависимости и са реализирани модели, посредством които са построени основни характеристики на отделните модули от зарядната система.

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

Дисертационният труд е методически правилно построен. Избраната методика на изследване съответства на поставената цел и задачи на дисертационния труд. Използвани са утвърдени методи за теоретично, експериментално и симулационно изследване на процесите в преобразувателите и в зарядните системи за електромобили.

Докторантът познава съвременния инструментариум за провеждане на изследвания по проблема. При решаване на задачите на дисертационния труд маг. инж. Мирослав Андреев е показал възможности да комбинира постиженията в изследваната област със собствен опит. В резултат е постигнато съответствие на поставената цел и задачи на дисертационния труд с постигнатите приноси.

В своята работа докторантът е използвал съвременни програмни продукти - MS Office, Cadence, Altium Designer, KiCad, OrCAD PSpice, Mathworks Matlab, MATLAB/Simulink, AutoCAD, Corel Draw и др.

### **4. Кратка аналитична характеристика на дисертационният труд**

Дисертационният труд е в обем от 162 страници, като включва увод, 4 глави, списък на използвани съкращения и означения, заключение, приноси, списък на публикациите по дисертацията, цитирания, използвана литература и едно приложение. Работата включва общо 72 фигури и 16 таблици.

В първа глава са разгледани съвременното състояние на технологиите за зареждане, видовете електромобили, архитектурата на зарядните станции и основни изисквания към тях. Разгледани са режимите за зареждане, международните стандарти за бърз заряд и системите за безконтактен заряд.



Представена е функционална блокова схема на безжична зарядна система. Дефинирани са концепции и понятия за взаимодействието на електромобилите с различни системи, с които могат да бъдат свързани. Дадени са различни видове топологии за зареждане, стратегии за управление на зарядни системи, видове преобразуватели, изисквания по отношение на мощността, както и възможности за максимизиране на енергийната ефективност на зарядните станции. Разгледани математически модели и системи за управление на батерии за електромобилите.

Във втора глава са анализирани съществуващи схемни решения и топологии на зарядни устройства и суперкондензатори, интегрирани в зарядни станции за съхранение на енергия. Представени са архитектури, концепции и топологии на блокови и принципни електрически схеми на монофазни и трифазни зарядни системи на електромобили. Коментирани са основните изисквания на зарядната система към DC-DC преобразувателите и схемните решения за реализация на отделните блокове на зарядните системи за бърз заряд. Подробно са разгледани AC-DC преобразувателите (неуправлями токоизправители; токоизправители с пасивни и активни филтри за увеличаване на фактора на мощността; токоизправители с PFC стъпало; управлями токоизправители). Представени са топологиите на постояннотоковите преобразуватели, които са основно звено при изграждането на зарядни станции за електромобили. Показани са и са анализирани суперкондензатори, като решение за бързо зареждане за кратко време, както и хиbridни системи за съхранение на енергия.

В трета глава е проектиран, успешно реализиран и симулиран в среда PSPICE понижаващ DC-DC преобразувател с комутация при нулево напрежение с предсказващ режим на управление на пиковия ток. Предложеният подход доказва високата ефективност и прецизното управление на преобразувателя. Понижаващият преобразувател с комутация при нулево напрежение работи при висока честота на превключване с висока ефективност при правилно оразмерени стойности на компонентите. Предложената система за управление на ZVS понижаващ DC-DC преобразувател в предсказващ режим на пиков ток може да бъде проектирана и реализирана в интегрално изпълнение. Моделирани са зарядни системи за бърз заряд за батерии на електромобили и са проведени симулационни изследвания. Направен е анализ на получените резултати.

В глава четвърта на дисертационния труд са представени моделно-ориентиран дизайн на автономна зарядна станция за електромобили, базирана на микрогазова едновалкова турбина и суперкондензатор, и системата за контрол на потока на енергия. Използването на суперкондензатор във внедрената система води до осигуряване на необходимия ток през товара и помага да се компенсира или недостигът, или излишъкът от генерираната от MGT енергия по време на процеса на зареждане на електромобила.

Представена е класификация на микрогазовите турбини и е разгледан принципът им на действие. Направен е преглед на системата за производство на електроенергия, базирана на микрогазова турбина с високоскоростен генератор, и е моделиран синхронен генератор с постоянни магнити.



Моделирана е и е изследвана зарядна станция с номинално напрежение на микрогазовата турбина - 360 V и изходна мощност - 30 kW. Намерена е оптималната стойност на суперкондензатора.

## **5. Научни, научно-приложни и приложни приноси на дисертационния труд**

Приносите в дисертационния труд имат научно-приложен характер и са в областта на проектирането и изследването на съвременни зарядни системи за електромобили. Те са свързани с доказване с нови средства на съществени нови страни в съществуващи научни проблеми и с получаване на потвърдителни факти.

- Изследвани са модел на ZVS DC-DC Buck преобразувател с режим на управление на предсказващ пиков ток и зарядна система за бърз заряд в среда OrCAD/PSpice и MATLAB/Simulink. Получени са функционални зависимости между основните характеристики и параметри на преобразувателя и режима на работа.
- Установени са принципът и методът на управление на понижаващ DC-DC преобразувател с комутация при нулево напрежение.
- Разработен е модел на зарядна станция за бърз заряд и са изследвани резултатите от симулациите при два режима на зареждане.
- Разработени, изследвани и анализирани са модели на микрогазова турбина, DC-DC преобразувател и PMSM генератор.
- Изследвани са и са проектирани конфигурации и модели на зарядна система, базирана на микрогазова турбина и суперкондензатор. Въз основа на извършения анализ и получени симулационни резултати е представена методология за проектиране на зарядна станция, базирана на микрогазова турбина и суперкондензатор, при различни товарни профили. Установена е процедура за оптимизация за намирането на най-малката стойност на суперкондензатора.

## **6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите.**

Считам, че постигнатите резултати са лично дело на докторанта под научното и методическо ръководство на неговите ръководители. Основание за това ми дават представеният материал и свързаните с него публикации, които са публикувани основно от маг. инж. Мирослав Андреев в съавторство с научните му ръководители - проф. д-р Георги Василев Ангелов и доц. д-р Николай Любославов Хинов.

## **7. Преценка на публикациите по дисертационния труд**

Във връзка с дисертационния труд са представени 5 публикации, 4 от които са реферираны в SCOPUS и Web of Science (2, 3, 4, 5). Една от публикациите е самостоятелна (4) и една статия е в списание с импакт фактор (5). Декларираны са 22 цитирания от чуждестранни автори. Приемам, че основните резултати от дисертацията са публикувани и известни на научната общност. Считам, че публикациите отразяват получените резултати в дисертационния труд.



Маг. инж. Андреев покрива и по определени показатели надвишава минималните национални изисквания. Представя: дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен „доктор“ на тема „Проектиране и изследване на зарядна система за електромобили“ (показател А - 50 т.); 5 публикации (група показатели Г – 83,32 т.), от които 4 научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (показател Г7 – 76,66 т.), и 1 научна публикация в нереферирано списание с научно рецензиране или в редактирани колективни томове (показател Г8 – 6,66 т.).

#### **8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика. Наличие на постигнат пряк икономически ефект и пр. Документи, на които се основава твърдението.**

В дисертационния труд са представени симулационно и експериментално изследване на автономна зарядна система за електромобили. Разработен е моделно-ориентиран дизайн на автономна зарядна станция за електромобили, базирана на микрогазова турбина и суперкондензатор, осигуряващ оптимални резултати по отношение на зададени диапазони на параметри. Проведените симулационни и експериментални изследвания на проектираните модели и схеми имат практическа приложимост в зарядни станции за бърз заряд в микромрежи.

Получените резултати от дисертационния труд могат да се използват и учебния процес и са основа за разработване на други научноизследователски проекти и дисертации. Изследванията в дисертацията, както и приложението на резултатите от тях са свързани с разработването на 3 научноизследователски проекта.

#### **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.**

Представеният автореферат е в обем от 32 стр. и съдържа обща характеристика на дисертационния труд (актуалност на проблема, цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване, научна новост, практическа приложимост, апробации, публикации, структура и обем на дисертационния труд), кратко съдържание на дисертацията по глави и заключения към всяка глава, научно-приложни приноси и списък на публикациите по дисертационния труд. Означенията на формулите, таблиците и фигурантите в автореферата съвпадат с тези в дисертацията. Авторефератът отговаря на изискванията и отразява същността на проведените теоретични и експериментални изследвания и постигнатите от докторанта резултати. Той е добре оформлен и илюстриран с богат графичен материал от дисертационния труд.

#### **10. Мнения, препоръки и бележки.**

В трудовете на кандидата не открих съществени пропуски. Към дисертационния труд могат да се направят следните препоръки и бележки:

1. Би било добре надписите на фигурантите да са на български език.



2. Означенията на електронните елементи да са по БДС.
3. Би било добре да са намали обзорната част.
4. Препоръчвам дисертационния труд да се доразвие в монография.

### **11. Заключение**

В заключение мога да дам положителна оценка на получените резултати и полезността на дисертацията. Авторът на дисертационния труд е демонстрирал задълбочени теоретични познания и практически умения за изследване и успешно реализиране на поставената цел и задачи.

Считам, че представеният дисертационен труд отговаря на изискванията на Закона за развитието на академичния състав в Република България и на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ-София. Постигнатите резултати ми дават основание да предложа да бъде придобита образователната и научна степен „доктор” от маг. инж. Мирослав Красимиров Андреев в област на висше образование - 5. Технически науки, професионално направление - 5.2 Електротехника, електроника и автоматика, научна специалност - Микроелектроника.

Дата: 14.03.2024 г.

Изготвил : (n)

/проф. д-р А. Александров/





## R E V I E W

on a dissertation work for the acquisition of an educational and scientific degree  
“Doctor of philosophy PhD”

**Author of the dissertation work:** MSc. Eng. Miroslav Krasimirov Andreev

**Title of the dissertation work:** “Design and study of an electric vehicle  
charging system”

The field of higher education: 5. Technical sciences; Professional direction: 5.2  
Electrical Engineering, Electronics and Automation; Scientific specialty:  
“Microelectronics”

**Reviewer:** Prof. Dr. Anatoliy Trifonov Aleksandrov – Technical university of  
Gabrovo

### **1. Relevance of the problem developed in the dissertation work in scientific and applied terms**

Vehicles are vital in people's daily lives as the use of electric vehicles increasing significantly. The development of technologies in the production of batteries as well as a number of economic and environmental factors, are preconditions for increasing interest in electric vehicles. Their rapid development increases the need for electrical energy which leads to an additional load on the public electrical grid on the one hand and to obstructing the spread of electric vehicles on the other hand.

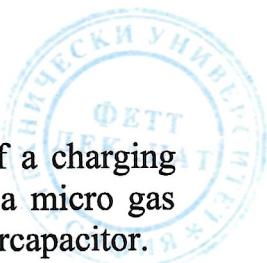
The growing fleet of electric vehicles requires advanced charging systems and improvements to the electrical grid. Charging systems require a special power electronics topology, control strategy and international charging standards as well as network interconnection in order to ensure optimal operation and improve electric grid maintenance.

The dissertation work analysed the modern technical means of the charging stations and its structure, circuit engineering solutions to ensure better static and dynamic properties of the powerful conversion devices connected to the load and the power source. A study of intelligent battery charging and discharging systems has been carried out. Charging systems based on micro gas turbines are presented and investigated. All this determines the relevance of the researched problem the purpose and tasks of the dissertation work both from a scientific-applied and applied point of view.

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

The literature review is specifically aimed at the researched topic and shows unequivocally that MSc. Eng. Miroslav Krasimirov Andreev knows very well the state of the problem in theoretical and practical terms. A total of 153 literary sources are cited, 148 of them are in Latin and the rest are Internet addresses.

An assessment and critical analysis of the current state of charging systems for electric vehicles have been carried out, based on which the purpose of the current



dissertation work has been defined - modelling, design and research of a charging system for fast charging for electric cars implemented on the basis of a micro gas turbine with a synchronous generator with permanent magnets and a supercapacitor.

In order to achieve the goal set the following tasks have been solved: research of schematic solutions for the implementation of power converter topologies, supercapacitors and hybrid energy storage systems as well as an analysis of the processes for controlling the charging system for electric vehicles; design, research and implementation of a DC-DC converter with zero voltage switching; development of simulation models for verification of the results of the theoretical analysis of the converter; proposal of a method for designing and controlling the studied converters; development and research of an electric vehicle charging system for fast charging based on a micro gas turbine and a supercapacitor. The operation of charging systems under different load cycles and modes of charging the load and the mutual influences between them have been studied. Analytical dependences have been obtained and models have been implemented by means of which basic characteristics of the individual modules of the charging system have been constructed.

### **3. Conformity of the chosen methodology of research and the set goal and the tasks of the dissertation work with the contributions achieved**

The dissertation work is methodically correctly constructed. The chosen research methodology corresponds to the set goal and tasks of the dissertation work. Proven methods have been used for theoretical, experimental and simulation study of the processes in converters and charging systems for electric vehicles.

The author knows the modern tools for conducting research on the problem. When solving the tasks of the dissertation work MSc. Eng. Miroslav Andreev has shown opportunities to combine achievements in the researched field with his own experience. As a result, compliance of the set goal and tasks of the dissertation with the contributions achieved are achieved. In his work the author used modern software products - MS Office, Cadence, Altium Designer, KiCad, OrCAD PSpice, Mathworks Matlab, MATLAB/Simulink, AutoCAD, Corel Draw etc.

### **4. Brief analytical characterization of the dissertation**

The dissertation work is in a volume of 162 pages including an introduction, 4 chapters, a list of used abbreviations and symbols, a conclusion, contributions, a list of publications on the dissertation, citations, used literature and an appendix. The work includes a total of 72 figures and 16 tables.

In Chapter 1, the current state of charging technologies, types of electric vehicles, the architecture of charging stations and their basic requirements are discussed. Charging modes, international fast charge standards and contactless charge systems are reviewed. A functional block diagram of a wireless charging system is presented. Concepts and concepts are defined for the interaction of electric vehicles with various systems with which they can be connected. Different types of charging topologies, strategies for managing charging systems, types of power converters, power requirements and opportunities to maximize the energy efficiency of charging stations



are given. Mathematical models and battery management systems for electric vehicles have been reviewed.

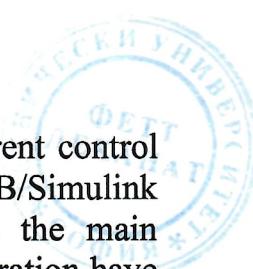
In Chapter 2, existing circuit solutions and topologies of charging devices and supercapacitors integrated in charging stations for energy storage are analysed. Architectures, concepts and topologies of block diagrams and principle electrical diagrams of single-phase and three-phase electric vehicle charging systems are presented. The main requirements of the charging system for the DC-DC converters and the circuit solutions for the implementation of the individual blocks of the charging systems for fast charging are commented. AC-DC converters (uncontrolled rectifiers; rectifiers with passive and active filters to increase the power factor; rectifiers with PFC stage; controlled rectifiers) are discussed in detail. The topologies of DC-DC converters, which are the main unit in the construction of charging stations for electric vehicles are presented. Supercapacitors are shown and analysed as a short-time fast charging solution as well as hybrid energy storage systems.

In Chapter 3, a zero-voltage switching step-down DC-DC converter with predictive peak current mode control is designed, successfully implemented and simulated in PSpice environment. The proposed approach proves the high efficiency and precise control of the converter. The zero-voltage switched buck converter operates at high switching frequency with high efficiency at properly sized component values. The proposed ZVS step-down DC-DC converter control system with predictive peak current mode control can be designed and implemented in integrated circuit. Fast charging systems for EV batteries have been modelled and simulation studies have been conducted. An analysis of the obtained results was made.

In Chapter 4 of the dissertation work presents a model-oriented design of an autonomous charging station for electric vehicles, based on a micro gas single-shaft turbine and a supercapacitor and the energy flow control system. The use of a supercapacitor in the implemented system results in providing the necessary current through the load and helps to compensate for either the shortage or excess of the MGT-generated energy during the EV charging process. A classification of micro gas turbines is presented and their principle of operation is discussed. The power generation system based on a micro gas turbine with high-speed synchronous generator is reviewed and a permanent magnet synchronous generator is modelled. A charging station with a nominal voltage of the micro gas turbine - 360 V and an output power - 30 kW has been modelled and studied. The optimum value of the supercapacitor is found.

## **5. Scientific and/or scientifically applied and applied contributions of the dissertation**

The contributions in the dissertation have a scientific-applied nature and are in the field of designing and researching modern charging systems for electric vehicles. They are related to proving by new means essential new sides in existing scientific problems and obtaining confirmatory facts.



- A model of ZVS DC-DC Buck converter with predictive peak current control mode and fast charging system in OrCAD/PSpice and MATLAB/Simulink environment are investigated. Functional dependencies between the main characteristics and parameters of the converter and the mode of operation have been obtained.
- The principle and control method of a step-down DC-DC converter with zero voltage switching are established.
- A model of a fast charge charging station is developed and simulation results under two charging modes are investigated.
- Models of micro gas turbine, DC-DC and DC-AC converters and PMSM generator has been developed, investigated and analysed.
- Configurations and models of a charging system based on micro gas turbine and a supercapacitor have been investigated and designed. Based on the performed analysis and simulation results obtained, a methodology is presented for the design of the charging station based on micro gas turbine and supercapacitor, under different load profiles. An optimization procedure is established to find the smallest value of the supercapacitor.

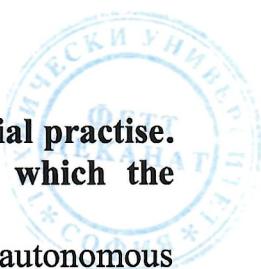
## **6. Assessment of the degree of personal involvement of the dissertation students in the contributions**

I believe that the achieved results are the personal work of the PhD student under the scientific and methodical guidance of his supervisors. The basis for this is given to me by the presented material and related publications which have been published mainly by MSc. Eng. Miroslav Andreev in co-authorship with his scientific supervisors - Prof. Dr. Georgi Vasilev Angelov and Assoc. Prof. Dr. Nikolay Lyuboslavov Hinov.

## **7. Assessment of dissertation publications**

In connection with the dissertation work, 5 publications are presented, 4 of which are referenced in SCOPUS and Web of Science (2, 3, 4, 5). One of the publications is independent (4) and one article is in a journal with an impact factor (5). 22 citations from foreign authors have been declared. I accept that the main results of the dissertation are published and known to the scientific community. I consider that the publications reflect the results obtained in the dissertation work.

MSc. Eng. Miroslav Andreev covers and in certain indicators exceeds the minimum national requirements. Presents: dissertation work for the award of an educational and scientific degree "PhD" on the topic "Design and research of a charging system for electric vehicles" (indicator A - 50 points); 5 publications (group of indicators D - 83.32 points), of which 4 scientific publications in editions that are referenced and indexed in world-famous databases with scientific information (indicator D7 - 76.66 points), and 1 scientific publication in non-refereed journal with scientific review or in edited collective volumes (index D8 – 6.66 points).



**8. Using the results of the dissertation work in scientific and social practise.  
Existence of achieved direct economic effect etc. Documents on which the statement is based**

The dissertation presents a simulation and experimental study of an autonomous charging system for electric vehicles. A model-oriented design of an autonomous charging station for electric vehicles based on a micro gas turbine and a supercapacitor has been developed providing optimal results with respect to set parameter ranges. The conducted simulation and experimental studies of the designed models and schemes have practical applicability in fast charging stations in microgrids. The obtained results of the dissertation work can be used in the educational process and are the basis for the development of other scientific research projects and dissertations. The studies in the dissertation as well as the application of their results are related to the development of 3 research projects.

**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**

The presented abstract is 32 pages long and contains a general description of the dissertation work (relevance of the problem, purpose of the dissertation work, main tasks and research methods, scientific novelty, practical applicability, approvals, publications, structure and volume of the dissertation work), a brief content of the dissertation by chapters and conclusions to each chapter, scientific and applied contributions and a list of publications on the dissertation work. The designations of the formulas, tables and figures in the abstract are matched by those in the dissertation work. The abstract meets the requirements and reflects the essence of the conducted theoretical and experimental research and the results achieved by the PhD student. It is well laid out and illustrated with rich graphic material from the dissertation work.

**10. Opinions, recommendations and notes**

I have not found any significant omissions in the candidate's works. The following recommendations and notes can be made to the dissertation work:

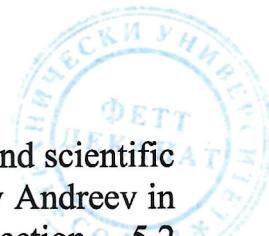
1. It would be good if the captions on the figures are written in Bulgarian language.
2. The designations of the electronic elements to be according to the BSS.
3. It would be good if the overview part is reduced.
4. I recommend the dissertation work to be further developed into a monograph.

**11. Conclusion**

In conclusion I can give a positive assessment to the obtained results and the usefulness of the dissertation. The author of the dissertation work has demonstrated in-depth theoretical knowledge and practical skills for research and successful implementation of the set goal and tasks.

I consider that the presented dissertation work meets the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria and the Regulations on the Conditions and Procedures for Acquiring Scientific Degrees at TU-

**ФЕТ75-НС1 -067**



Sofia. The achieved results give me a reason to propose the educational and scientific degree "Doctor" to be acquired from the MSc. Eng. Miroslav Krasimirov Andreev in the field of higher education - 5. Technical sciences, professional direction - 5.2 Electrical engineering, electronics and automation, scientific specialty - Microelectronics.

Date: 14.03.2024 г.

Reviewer: *(n)*  
/Prof. Dr. A. Alexandrov/

