

РЕЦЕНЗИЯ

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

Автор на дисертационния труд: **маг. инж. Марин Тодоров Маринов**

Тема на дисертационния труд: **Изследване на топлинните режими на честотно управляем асинхронен двигател**

в област на висшето образование 5. Технически науки, ПН 5.2. Електротехника, електроника и автоматика,

докторска програма „Електрически машини и апарати“, ТУ-Варна

Изготвил рецензията: **проф. д-р инж. Захари Живков Зарков, Технически университет – София, Електротехнически факултет**

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

Темата на дисертационния труд е безспорно **актуална и значима** в контекста на съвременната индустриална практика, при която индукционните (асинхронните) двигатели все повече се използват заедно с честотни преобразуватели за регулиране на скоростта на въртене. Както е коректно посочено и аргументирано в литературния обзор, използването на честотни преобразуватели води до изменение на електромагнитните, механичните и топлинните режими на двигателя, което пряко влияе върху неговата надеждност, експлоатационен живот и енергийна ефективност. Проблематиката за топлинните режими и температурното разпределение в асинхронните двигатели е актуална и от гледна точка на необходимостта от нови и подобрени конструкции на тези машини в съответствие с повишаващите се изисквания за повишаване на енергийната ефективност с класовете IE3 и IE4. Работата на индукционните двигатели в състава на регулируеми електрозадвижвания променя параметрите на режима на работа, което обуславя необходимостта от по-задълбочени знания за нагряването и топлинните режими за тяхната надеждна и дългосрочна експлоатация. Повишаването на ефективността на работа на двигателите посредством подобрени конструкции и използване на регулируеми електрозадвижвания води до намаляване на консумацията на електроенергия, намаляване на разходите и на въглеродните емисии, а оттам до нисковъглеродна икономика и зелен преход. Също така наличието на ограничени експериментални данни за температурното разпределение във вътрешните части на двигателя (особено ротора), както и за динамичните топлинни процеси определя темата като своевременна и научно обоснована.

Дисертационният труд е разработен в обем от 136 страници и съдържа 155 фигури и 17 таблици. Материалът е оформен в 5 глави, завършващи с

изводи към всяка глава. Библиографията включва 122 заглавия. Допълнително към дисертацията има приложения с обем 95 страници.

2. Степен на познаване на състоянието на проблема

Авторът се позовава на значителен брой литературни източници – общо 122, от които 103 на латиница (английски език), 9 – на кирилица и 10 сайта в Интернет. Разгледани са утвърдени трудове и съвременни публикации в областта на анализа и изследването на асинхронните двигатели, честотното управление, топлинното моделиране и температурните измервания. Литературният обзор показва добро познаване на състоянието на проблема и позволява да се очертаят основните направления и методи за изследване в дисертационния труд.

На места литературният обзор има предимно описателен характер, без достатъчна критична интерпретация и ясно обособяване на научните празноти, които разработката цели да запълни.

В резултат на направения обзор и критичен анализ на литературните източници логично са формулирани целта и задачите на дисертацията.

3. Методика на изследването

Основната цел на дисертационния труд е изследване и анализ на температурното поле в асинхронен двигател при честотно управление. За постигането ѝ са формулирани задачи, свързани с аналитично определяне на параметрите и загубите в асинхронния двигател, числено моделиране на топлинните процеси, реализиране на експериментален стенд, провеждане на експериментални изследвания и валидиране на изчислителните резултати.

Избраната методика, основана на съчетаване на аналитични изчисления с Т-образна заместваща схема на асинхронен двигател, модел с метода на крайните елементи в софтуерен продукт COMSOL и експериментално валидиране със специализирана опитна постановка, е подходяща и логически последователна за изпълнение на поставените задачи и постигане на формулираната цел на дисертацията.

4. Оценка на достоверността на материала, върху който се основават приносите на дисертационния труд

Достоверността на материала, върху който докторантът прави своите изводи и претендира за приноси, се основава на цялостния и задълбочен научен подход при провеждане на изследването. Подробното описание на използваната при измерванията апаратура, анализът на грешките при измерванията и подробното описание на методиката за провеждане на изследванията показва високата компетентност на докторанта при организиране и провеждане на експериментите. Богатото представяне на експериментални резултати и направените сравнения с получените такива по изчислителен път ми дава основание да заключа, че материалът, върху

който се основават приносите на дисертационния труд, е достоверен и е използван по коректен начин.

5. Приноси на дисертационния труд

В резултат на проведеното изследване са получени резултати с преобладаващо научно-приложно и приложно значение. По-съществените приноси могат да бъдат обобщени по следния начин:

Научно-приложни приноси на дисертационния труд

- Разработена е подобрена методика за изследване на температурното разпределение и температурните режими на честотно управляем асинхронен двигател, която съчетава аналитично определяне на параметрите и загубите в машината чрез Т-образна заместваща схема и числено моделиране на топлинните процеси чрез метода на крайните елементи.
- Разработени са симулационни модели в среда COMSOL и е извършено числено изследване на стационарни и преходни топлинни процеси в честотно управляван асинхронен двигател при различни стойности на захранващата честота.
- Направен е анализ на влиянието на захранващата честота върху разпределението на температурното поле и динамичното изменение на температурите в основните елементи на двигателя.
- Извършен е сравнителен анализ на изчислителните и експериментални резултати, чрез който е потвърдена адекватността на разработената методика за изследване на температурните режими на асинхронен двигател с честотно управление в рамките на направените допускания.

Приложни приноси на дисертационния труд

- Изграден е експериментален стенд за измерване и регистриране на температурите в отделни части на честотно управляем асинхронен двигател, включително реализирано решение за измерване на температурата в роторното тяло чрез безжично предаване на данните.
- Разработена е постановка за експериментално изследване на температурните режими на асинхронни двигатели при честотно управление.
- Получените експериментални резултати са приложими като референтни данни при оценка и верификация на топлинни модели на асинхронни двигатели.

Формулираните от докторанта приноси отразяват в значителна степен извършената изследователска и инженерна работа. Част от тях имат по-скоро методически характер и представляват развитие и приложение на известни подходи. Наред с това следва да се отбележи, че

експерименталната част, свързана с разработването на оригинален подход за измерване на температурното поле в ротора и реализираният стенд, представляват най-същественият и ясно изразен принос на дисертационния труд.

6. Оценка на степента на лично участие на докторанта в разработката на дисертацията и приносите

Считам, че докторантът в много голяма степен лично е участвал при извършване на отделните етапи от изследванията в дисертационния труд – разработване на изчислителни и симулационни модели, извършване на изчисления и симулации, създаване на експериментален стенд, провеждане на експериментални изследвания, обработка и анализ на резултатите, написване на дисертационния труд. Заявените научно-приложни и приложни приноси са лично дело на маг. инж. Марин Тодоров Маринов под научното и методическо ръководство на неговите научни ръководители.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Основните постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 4 научни статии в периода 2020-2025г. И четирите статии са докладвани на международни научни конференции, проведени в България, и са публикувани в дигиталната библиотека IEEE Xplore Digital Library. Три от тях са индексирани в базата данни Scopus. В една от статиите докторантът е самостоятелен автор. Не са представени данни за налични цитирания до момента на публикациите по дисертационния труд.

Оценявам публикационната дейност на докторанта като достатъчна и считам, че резултатите от работата по дисертационния труд са станали в достатъчна степен достойни на българската и международната научна общност.

Публикациите по дисертационния труд в количествено и качествено отношение удовлетворяват изискванията за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“.

8. Използване на получените резултати в научната и социалната практика

Разработената методика и получените резултати могат да намерят приложение при изследване, проектиране и експлоатационна оценка на асинхронни двигатели с честотно управление. Считам, че разработеният експериментален стенд и системата за измерване на температурите в двигателя могат да бъдат използвани за разширяване на изследванията върху топлинните режими на електрическите машини при различни приложения и режими на работа.

9. Мотивирани препоръки за бъдещо използване на научно-приложните приноси

Препоръчвам разработената методика и изградената експериментална база да бъдат използвани при бъдещи научно-изследователски разработки, както и в учебния процес при подготовката на студенти и докторанти по дисциплини, свързани с електрически машини, електрозадвижвания и честотно управление.

10. Оценка на автореферата

Авторефератът към дисертационния труд е с обем 26 страници и отразява достатъчно точно основните изследвания и постижения в дисертационния труд. Авторефератът отговаря на изискванията на Технически университет-Варна за оформяне на автореферат.

11. Бележки и препоръки

Мога да отбележа, че моите забележки и препоръки от прегледа на дисертацията при изготвянето на предварително становище са взети предвид от докторанта и внесени като корекции и допълнения към преработената ѝ версия.

Отлично впечатление ми направи разработеният стенд за експериментално изследване с внедрени съвременни средства за измерване, предаване и събиране на информация, както и голямото количество получени ценни експериментални данни.

Наред с положителните страни на дисертационния труд следва да бъдат направени и някои по-съществени бележки:

1. При дефинирането на връзката между честотата и напрежението на двигателя е използвано понятието „условие за оптимална работа на асинхронен двигател“, което не е изяснено и обосновано в текста, а цитираният литературен източник е чак от 1973г.
2. Голяма част от междинните пресмятания са изнесени в приложенията, което затруднява проследяването им при четене само на основния текст.
3. Твърдението, че на база на създаденото моделиране може да се разработи реален двигател с по-добри показатели и характеристики, не намира обосновка в изложението на дисертационния труд.
4. Налице са отделни редакционни и терминологични неточности в текста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Посочените бележки не обезсилват качествата на извършеното изследване и не намаляват значимостта на получените резултати. Дисертационният труд представлява завършено научно-приложно изследване по актуален и практически значим проблем. Докторантът е демонстрирал: задълбочени познания в областта на електрическите машини и честотното управление; умения за работа със съвременни средства за моделиране и способност за самостоятелно провеждане на научни и експериментални изследвания.

Считам, че представеният дисертационен труд отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България, Правилника за неговото прилагане и действащите правила на Технически университет – Варна за придобиване на образователната и научна степен „доктор“.

Въз основа на изложеното давам положителна оценка на дисертационния труд и предлагам на уважаемото научно жури да присъди на **маг. инж. Марин Тодоров Маринов** образователната и научна степен „доктор“ по професионално направление 5.2. Електротехника, електроника и автоматика, докторска програма „Електрически машини и апарати“.

Дата: 17.07.2026 г.

Рецензент:

проф. д-р инж. З. Зарков

R E V I E W

of a dissertation for the acquisition of the Educational and Scientific Degree “Doctor”

Author of the dissertation: **M.Eng. Marin Todorov Marinov**

Title of the dissertation: **Research on the Thermal Regimes of a Frequency-Controlled Induction Motor**

in the field of higher education **5. Technical Sciences**, professional field **5.2 Electrical Engineering, Electronics and Automation**

Doctoral program **“Electrical Machines and Apparatus”**, Technical University of Varna

Reviewer: **Prof. PhD Eng. Zahari Jivkov Zarkov**, Technical University of Sofia, Faculty of Electrical Engineering

1. Relevance of the Problem Addressed in the Dissertation from Scientific and Scientific-Applied Perspectives

The topic of the dissertation is undoubtedly relevant and significant in the context of modern industrial practice, where induction (asynchronous) motors are increasingly used together with frequency converters for speed control. As correctly pointed out and justified in the literature review, the use of frequency converters leads to changes in the electromagnetic, mechanical and thermal operating conditions of the motor, which directly affect its reliability, service life and energy efficiency.

The issue of thermal regimes and temperature distribution in induction motors is also relevant from the point of view of the need for new and improved motor designs in accordance with the increasing energy efficiency requirements associated with IE3 and IE4 efficiency classes. The operation of induction motors as part of adjustable-speed drives changes their operating conditions, creating the need for more in-depth knowledge of heating phenomena and thermal regimes in order to ensure reliable and long-term operation.

Improving motor efficiency through enhanced designs and the use of adjustable-speed drives contributes to reducing electricity consumption, operating costs and carbon emissions, thereby supporting the transition to a low-carbon economy and green transition. In addition, the limited availability of experimental data regarding the temperature distribution within the internal parts of the motor, particularly the rotor, as well as data related to transient thermal processes, makes the topic timely and scientifically justified.

The dissertation comprises 136 pages and contains 155 figures and 17 tables. The material is organized into five chapters, each ending with conclusions. The bibliography includes 122 references. In addition, appendices with a total volume of 95 pages are attached to the dissertation.

2. Degree of Knowledge of the State of the Problem

The author refers to a significant number of literature sources, namely 122 references, including 103 in English, 9 in Cyrillic and 10 Internet sources.

Classical and contemporary publications in the fields of induction motor analysis, frequency control, thermal modelling and temperature measurements have been reviewed. The literature review demonstrates good knowledge of the current state of the problem and allows the identification of the main research directions and methods employed in the dissertation.

In some sections, however, the literature review is predominantly descriptive and lacks sufficient critical interpretation and a clearer identification of the scientific gaps that the dissertation aims to address.

Based on the conducted review and critical analysis of the available literature, the objectives and tasks of the dissertation have been formulated logically and consistently.

3. Research Methodology

The main objective of the dissertation is the investigation and analysis of the temperature field in an induction motor operating under frequency control. To achieve this objective, a number of tasks have been formulated, including analytical determination of motor parameters and losses, numerical modelling of thermal processes, development of an experimental test bench, experimental investigations and validation of the calculated results.

The selected methodology, based on the combination of analytical calculations using the T-equivalent circuit of an induction motor, finite-element modelling implemented in COMSOL software and experimental validation using a specialized test setup, is appropriate and logically consistent with the formulated objectives and tasks of the dissertation.

4. Assessment of the Reliability of the Material on Which the Dissertation Contributions are Based

The reliability of the material on which the PhD student derives his conclusions and claims contributions is based on a comprehensive and in-depth scientific approach to conducting the research. The detailed description of the measurement equipment, the analysis of measurement errors and the comprehensive presentation of the experimental methodology demonstrate the doctoral candidate's high level of competence in organizing and conducting the experiments.

The extensive presentation of experimental results and their comparison with results obtained through numerical calculations provide sufficient grounds to conclude that the material on which the dissertation contributions are based is reliable and has been used correctly.

5. Contributions of the Dissertation

The research has produced results of predominantly scientific-applied and applied significance. The most important contributions may be summarized as follows.

Scientific-Applied Contributions

- An improved methodology has been developed for investigating the temperature distribution and thermal regimes of a frequency-controlled induction motor, combining analytical determination of motor parameters and losses through a T-equivalent circuit and numerical modelling of thermal processes using the finite element method.
- Simulation models have been developed in COMSOL and numerical investigations of steady-state and transient thermal processes in a frequency-controlled induction motor have been carried out at different supply frequencies.
- The influence of supply frequency on temperature distribution and on the dynamic variation of temperatures in the main motor components has been analyzed.
- A comparative analysis of calculated and experimental results has been performed, confirming the adequacy of the developed methodology for investigating the thermal regimes of a frequency-controlled induction motor within the adopted assumptions.

Applied Contributions

- An experimental test bench has been developed for measuring and recording temperatures in different parts of a frequency-controlled induction motor, including an implemented solution for temperature measurement in the rotor body through wireless data transmission.
- An experimental setup has been developed for investigating the thermal regimes of induction motors under frequency control.
- The obtained experimental results are applicable as reference data for the evaluation and verification of thermal models of induction motors.

The contributions formulated by the doctoral candidate reflect to a considerable extent the performed research and engineering work. Some of them are mainly methodological in nature and represent the development and application of known approaches. At the same time, it should be noted that the experimental part, related to the development of an original approach for measuring the temperature field in the rotor and the implemented experimental test bench, represents the most substantial and clearly expressed contribution of the dissertation.

6. Assessment of the Degree of Personal Contribution of the PhD Student

I believe that the doctoral candidate personally participated to a very large extent in all stages of the research presented in the dissertation, including the development of analytical and simulation models, performing calculations and simulations, construction of the experimental test bench, conducting the

experiments, processing and analyzing the results, and preparing the dissertation manuscript.

The declared scientific-applied and applied contributions are the personal work of M.Eng. Marin Todorov Marinov, carried out under the scientific and methodological guidance of his supervisors.

7. Evaluation of the Publications Related to the Dissertation

The main achievements and results of the dissertation have been published in four scientific papers during the period 2020–2025. All four papers were presented at international scientific conferences held in Bulgaria and published in the IEEE Xplore Digital Library. Three of them are indexed in the Scopus database. In one of the papers the doctoral candidate is the sole author.

No information has been provided regarding citations of the publications related to the dissertation.

I evaluate the publication activity of the doctoral candidate as sufficient and consider that the results of the dissertation research have become sufficiently known to the Bulgarian and international scientific community.

The publications related to the dissertation satisfy both the qualitative and quantitative requirements for obtaining the Educational and Scientific Degree “Doctor”.

8. Use of the Obtained Results in Scientific and Social Practice

The developed methodology and the obtained results can be applied in the investigation, design and operational evaluation of frequency-controlled induction motors. In my opinion, the developed experimental test bench and the temperature measurement system implemented in the motor can be used to extend research on the thermal regimes of electrical machines under various applications and operating conditions.

9. Recommendations for Future Use of the Scientific-Applied Contributions

I recommend that the developed methodology and the established experimental facilities be used in future research activities as well as in the educational process for the training of undergraduate, graduate and doctoral students in subjects related to electrical machines, electric drives and frequency control.

10. Evaluation of the Abstract

The abstract comprises 26 pages and reflects sufficiently accurately the main investigations and achievements presented in the dissertation. The abstract complies with the requirements of the Technical University of Varna regarding the preparation and format of dissertation abstracts.

11. Remarks and Recommendations

I would like to note that my remarks and recommendations from the preliminary review of the dissertation have been taken into account by the doctoral candidate and incorporated into the revised version of the manuscript.

I was particularly impressed by the developed experimental test bench incorporating modern means for measurement, transmission and acquisition of data, as well as by the large amount of valuable experimental data obtained.

In addition to the positive aspects of the dissertation, several more significant remarks should be made:

1. In defining the relationship between motor frequency and voltage, the concept of an “optimal operating condition of an induction motor” is used. This concept is not sufficiently explained and justified in the text, while the cited reference dates back to 1973.
2. A significant part of the intermediate calculations is presented in the appendices, which makes their traceability more difficult when reading only the main text.
3. The statement that a real motor with improved performance and characteristics can be developed on the basis of the created model is not sufficiently justified by the content of the dissertation.
4. There are several editorial and terminological inaccuracies throughout the manuscript.

CONCLUSION

The above remarks do not diminish the merits of the conducted research nor the significance of the obtained results. The dissertation represents a completed scientific-applied investigation of a relevant and practically important problem. The doctoral candidate has demonstrated: in-depth knowledge in the field of electrical machines and frequency control, skills in working with modern modelling tools, and the ability to conduct scientific and experimental research independently.

I consider that the submitted dissertation meets the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria, the Regulations for its implementation, and the current regulations of the Technical University of Varna for acquiring the Educational and Scientific Degree “Doctor”.

Based on the above, I give a **positive evaluation** of the dissertation and recommend that the esteemed Scientific Jury award **M.Eng. Marin Todorov Marinov** the Educational and Scientific Degree “**Doctor**” in professional field **5.2. Electrical Engineering, Electronics and Automation**, doctoral program “**Electrical Machines and Apparatus**”.

Date: 17.07.2026

Reviewer:
Prof. PhD Eng.  Zarkov