

РПК 78-НС1-091
03.12.2025
ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ
ДОКТОР
РИ
СОФИЯ

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд
за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“
по професионално направление 5.3 Комуникационна и
компютърна техника,
научна специалност „Автоматизация на инженерния труд и
системи за автоматизация на проектирането”

Автор на дисертационния труд:

Марсида Ибро

Тема на дисертационния труд: „Разработване на методи,
модели и мултимедийни обучителни средства за проектиране на
комуникационни схеми върху програмируема логика (FPGA) с ниска
консумация на енергия”

доц. д-р инж. Тихомир Брусев,
Технически Университет - София

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

В съвременния живот телекомуникационните схеми са широко използвани в нашето ежедневие, защото имат висока функционалност. От друга страна, това е пряко свързано с повишена им консумация на енергия. Едно от най-големите предизвикателства пред проектантите остава как да намалят и оптимизират консумацията на мощност от електронните блокове, без да се влошава тяхната производителност. Ето защо е много важно да се разработят иновативни педагогически ресурси, които да помогнат за разбирането на темата и да бъдат връзката между образованието, научните изследвания и разработването на ефективни телекомуникационни системи.

FPGA е атрактивна технология поради своята адаптивност, възможност за преконфигуриране и висока производителност в широк спектър от приложения. Тези свойства ги правят подходящи за използване в телекомуникационни системи, където адаптивността към специфични изисквания е от съществено значение. Проектирането на високоефективни схеми базирани на FPGA, може

да увеличи живота на батериите в преносимите електронни устройства.

Основната цел на дисертационни труд е да се изследват и разработят методи, модели и мултимедийни инструменти за обучение, за да се подобри проектирането и разбирането на комуникационни схеми, базирани на FPGA с ниска консумация на мощност.

За постигане на тази цел докторантката е формулирала задачи, свързани с изучаване и оценка на различни фактори, които влияят върху консумацията на енергия на FPGA, и е извършила подробен анализ на съществуващите методи, модели и инструменти, използвани за проектиране на FPGA с ниска консумация на мощност. Анализирани и илюстрирани е ефектът от методите за оптимизация върху консумацията на енергия за различни FPGA-базирани приложения. Проектиран е калкулатор за консумация на енергия. Разработен е образователен блог, фокусиран върху обучението, свързано с FPGA. Проектирани са интерактивни мултимедийни инструменти за обучение, включително подробни уроци, виртуални лаборатории и симулации с фокус върху оптимизацията на консумацията на мощност. Направен е анализ на обратната връзка от студентите относно опита им от използването на разработения образователен блог.

В тази дисертация е разработена иновативна методология за подпомагане на електронното обучение на студентите в областта на проектирането на FPGA с ниска консумация на енергия. Изследвани са различни телекомуникационни схеми и системи с цел оптимизиране на консумацията им на мощност. Изследвани и внедрени са методи за намаляване на консумацията на енергия. Проектирани са 8 различни VHDL кода за анализиране факторите влияещи върху консумацията на мощност.

Изследвани и анализирани са иновативни методи за оптимизация на консумацията на енергия. Тази дисертация може да се използва в различни индустриални проекти, свързани с намаляване на консумацията на мощност, както и за обучение на студенти в придобиване на умения, необходими за пазара на труда. Разработен е образователен блог, който интегрира смесена методология, включваща проектно-базирано обучение, интерактивни упражнения и обратна връзка в реално време, за да се подобри усвояването на сложни теми, свързани с FPGA.

Всичко това определя актуалността на изследвания проблем, както от научноприложна, така и от приложна гледни точки.

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

В тази дисертация са използвани 290 литературни източника. Повечето от тях са от последните 10 години. В литературния обзор и анализа на изследователската методология и методите, планирани за изследването, които са представени съответно в глава 1 и глава 2, са цитирани повече от 270 публикации.

Това ми дава основание да смятам, че докторантката Марсида Ибро познава съвременното състояние на решаваните от него проблеми, което е основа за успешно решаване на поставените задачи.

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

Докторантката Марсида Ибро е формулирала цел и задачи, които са адекватни и съответстват на изискванията за дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“.

Литературното проучване показва ограничен достът до симулационни инструменти и липсата на интерактивни образователни инструменти, които да се използват за оптимизация на консумацията на мощност на телекомуникационни схеми базирани на FPGA. Избраната методология включва: използване на 33 комерсиални или безплатни приложения за електронно обучение, базирани на FPGA, за оптимизация на консумацията на мощност; дефиниране на 10 фактора, влияещи върху консумацията на енергия на FPGA; избор на 7 метода за нискоенергийно проектиране, базирано на FPGA плюс 7 метода за физическа оптимизация; избор на няколко телекомуникационни схеми и системи, с цел дефиниране на методи, фактори и модели за оценка на консумацията на мощност; проектиране на образователен блог, уеб-базирани калкулатори на мощност, инструменти за добавена реалност; обратна връзка от студентите на базата на курсовете създадения в образователен блог, за оценка на придобитите знания и умения.

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

Представената дисертация се състои от 155 страници текст и 126 страници приложения, много добре структурирани в пет глави, списък на публикациите, списък на цитираните статии, списък на фигури и таблици, списък на съкращенията, увод, приноси и изпозвана литература.

В глава I е направен литературен обзор. Анализирани са съвременните методи, модели и мултимедийни инструменти за проектиране на комуникационни схеми с програмируема логика с ниска консумация на енергия. Разгледани са различни приложения на FPGA, като например цифрова обработка на сигнали (DSP), телекомуникации, аерокосмическа индустрия, автомобилна индустрия, индустриална автоматизация, изкуствен интелект (AI), машинно обучение (ML), мрежи, медицински устройства и електронно обучение, от гледна точка на консумацията на мощност. Разгледани са възможностите, предлагани от мултимедийните инструменти за електронно обучение, базирани на FPGA, за обучение на студенти. Представени са различни съществуващи уеб-базирани FPGA инструменти, които се фокусират върху изучаването на консумация на енергия от различни електронни схеми. Аналитичният анализ на литературния преглед показва липсата на инструменти за симулация в реално време, което възпрепятства способността на студентите да тестват енергийно ефективни FPGA проекти.

В глава II е представен цялостен анализ на факторите, влияещи върху консумацията на енергия, методите, моделите и мултимедийните инструменти на обучение за проектиране на комуникационни схеми, използващи FPGA. Описани са количествените, качествените методи и хибридните методи за оценка на консумацията на мощност. Анализирани се факторите, които влияят върху консумацията на енергия на FPGA. Представени са различни методи за оптимизация на мощността в проектите на FPGA, като методи, свързани с тактова честота, разполагане на компоненти, съобразено с консумацията на мощност, оптимизация на разполагането, оптимизация на разсейване на топлината, оптимизация на маршрутизирането на мощността, оптимизация на

частична реконфигурация, динамично мащабиране на честотата и напрежението (DFVS). Представени са модели на консумация на енергия за FPGA. Обсъждат се и сравняват наличните инструменти, базирани на FPGA. Разглежда се внедряването на приложение с добавена реалност (AR) за оценка на консумацията на енергия на FPGA за учебни цели.

В глава III е предложена методология за изучаване на проектиране на схеми в телекомуникациите, базирани на FPGA, с ниска консумация на мощност. Изследавни са методите за физическа оптимизация върху динамичната и статичната консумация на енергия на схеми, с помощта на Vivado. Оценено е влиянието на динамично мащабиране на честотата и напрежението (DFVS) върху намаляването на консумацията на мощност за процесорен блок, проектиран на FPGA. Получените резултати показват, че техниката DVFS е по-ефективна по отношение на динамичната консумация на енергия в сравнение със статичната. Проведен е задълбочен анализ на консумацията на енергия и използването на ресурсите при различни техники за логическо криптиране. Оценката на консумацията на енергия в хардуерни решения за киберсигурност на безпилотни системи показва, че при криптирани и некриптирани FPGA проекти динамичната консумация на мощност е доминиращият фактор.

В глава IV е представен разработен и внедрен образователен блог посветен на обучение по цифрово проектиране, базирано на FPGA, с ударение върху анализ на факторите, влияещи върху консумацията на енергия. Проектиран е уеб базиран калкулатор. Динамичната, статичната и общата консумация на енергия на FPGA може да бъде изчислена при различни стойности на входните параметри, като захранващо напрежение, работна честота и капацитет. Студентите могат да използват графичната визуализация на калкулатора, за да имат по-ясна представа за консумацията на енергия като функция на входните параметри. Разработено е интерактивно учебно приложение, фокусирано върху консумацията на енергия на FPGA, използвайки AR, като се набляга на създаването на 3D модели. Студентите могат да използват виртуални FPGA дизайни и да участват в интерактивни учебни модули.

В глава V са представени мултимедийни инструменти, разработени в помощ на студентите за обучение, на принципите на енергийно ефективното проектиране на FPGA. В проектирания

образователен блог са представени различни възможности за симулация на схеми в областта на телекомуникациите, интернет на нещата, процесорните устройства и киберсигурността. Обучението на студентите се анализират с помощта на структуриран въпросник, предназначен за потребители на блога. Въпросникът е насочен към студенти с различен произход и различни нива на експертиза в FPGA технологията. Събрани са 54 отговора от студенти, записани в Западнобалканския университет в бакалавърската степен по компютърни науки и изкуствен интелект, софтуерно инженерство и киберсигурност. Получените резултати са графично представени и анализирани.

5. Научни, научноприложни и приложни приноси на дисертационния труд.

В докторската дисертация авторът е посочил 13 приноса. Десет от тях са научни, два са научно-приложни и един е приложен. Приемам приносите, формулирани от докторантката Марсида Ибро, които могат да бъдат обобщени по следния начин:

- Разработена е иновативна методология за електронно обучение на студенти в областта на проектирането на нискоенергийни FPGA.
- Направени са изследвания и е анализиран ефектът на различни хардуерни и софтуерни решения върху намаляването на консумацията на мощност на електрически схеми с приложения в телекомуникациите.
- Разработен е образователен блог FPGAeduLab, свързан с обучение на студенти за проектиране на FPGA базирани системи, който е достъпен онлайн. Фокусът е изследване на факторите, които влияят върху намаляването на консумацията на енергия.
- Разработен е ориентиран към потребителя калкулатор за изчисляване на консумацията на мощност и нейното графично представяне.
- Разработени са интерактивни мултимедийни инструменти за обучение, включително подробни уроци, виртуални лаборатории и симулации, за да се подобри разбирането на принципите на проектиране на FPGA, с акцент върху оптимизацията по мощност.
- Създадено е AR приложение за по-добра визуализация на влиянието на дизайна върху консумацията на енергия.

- Направено е изследване на мнението на студентите относно опита им с използването на образователния блог FPGAeduLab и е анализирана тяхната оценка.

Смятам, че получените резултати са оригинални и изцяло съответстват на изискванията за дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“.

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

За личните приноси на докторантката Марсида Ибро съдя от факта, че тя има един самостоятелен научен труд, а в девет от останалите тя е първи съавтор. Това ми дава основание да приема, че дисертационният труд и приносите са лично дело на кандидата.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд. Отражение в науката.

По дисертацията са направени дванадесет публикации. Три от докладите са докладвани на конференция в България. Осем от статиите са реферирани в Scopus. Докторантката е съавтор на глава от книга, цитирана в Scopus.

Направените публикации надхвърлят минималните изисквания за присъждане на образователната и научна степен „Доктор“. Приемам, че основните резултати на дисертационния труд са достойствие на международната и българската научна общественост.

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

Много положителен е фактът, че реализираните изследвания на докторантката са проведени в рамките на Съвместната докторска програма „These en Cotutelle“ в мрежата CEEPUS номер: CIII-BG-1103-06-2122.

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 напълно отразява съдържанието и получените резултати в дисертационния труд, като са подчертани основните

приноси. Също така изцяло са спазени изискванията за изготвяне на авторефератите в Техническия университет – София, поради което дадох и положителен отзив за неговото отпечатване.

10. Мнения, препоръки и бележки.

Всички препоръки и забележки, направени от мен в предварителното мнение, както и на предварителното обсъждане на дисертационния труд са изпълнени.

11. Заключение с ясна положителна или отрицателна оценка на дисертационния труд.

Считам, че дисертационният труд „Разработване на методи, модели и мултимедийни обучителни средства за проектиране на комуникационни схеми върху програмируема логика (FPGA) с ниска консумация на енергия“ на докторантката Марсида Ибро покрива изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България и Правилника за неговото приложение. Приемам че, направените изводи и заключения са логически и компетентно построени.

Въз основа на получените научни, научноприложни и приложни приноси в дисертацията, демонстрираните образователно ниво и натрупания теоретичен и практически опит, значимите публикации по дисертацията, предлагам на научното жури да присъди на Марсида Ибро научната степен „**Доктор**“ по професионално направление 5.3 Комуникационна и компютърна техника, научна специалност „Автоматизация на инженерния труд и системи за автоматизация на проектирането“.

3.12.2025 г.

Изготвил:

(доц. д-р Тихомир Брусев)

OTK 78-HE 1-09/11,
03.12.2025 r.



REVIEW

of doctoral thesis
for obtaining the educational and scientific degree "Doctor"
in a professional field

**5.3 Communication and Computer Engineering,
in the scientific specialty „Computer-aided engineering and
computer-aided design systems"**

Author of doctoral thesis:

M.Sc. Marsida Ibro

Topic of doctoral thesis: „Development of methods, models, and
multimedia learning tools for the design of communication circuits on
programmable logic (FPGA) with low energy consumption"

Assoc. prof. Dr. Eng. Tihomir Brusev,

Technical University of Sofia

**1. Relevance of the problem developed in the doctoral thesis in
scientific and applied science. Degree and levels of relevance of the
problem and the specific tasks developed in the doctoral thesis.**

Nowadays, telecommunication circuits are widespread used in our life because they perform high functionalities. On the other hand, this is directly related to increased power consumption of the operated devices. One of the biggest challenges of the designers remains how to decrease and optimize the energy consumption of the building electronic blocks, without degradations of their performance. Therefore, it is very important to be developed innovative pedagogical resources that will help understand the topic and be the link between education, scientific research and the development of low-power telecommunications systems.

Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) become attractive technology because of their adaptability, reconfigurability, and high performance across a broad range of applications. These properties make them suitable for use in telecommunication systems, where adaptability to specific requirements is essential. The high efficient FPGA-based circuit design can increase the battery lifetime in portable electronic devices.

The main goal of this thesis is to investigate and develop methods, models, and multimedia learning tools to enhance the design and understanding of low-power FPGA-based communication circuits.

To achieve this goal, the doctoral student has formulated tasks connected with study and evaluation of different factors that affect FPGA power consumption and conduct a comprehensive analysis of existing methods, models, and tools used for low-power FPGA designs. The effect of optimization methods in power consumption for different FPGA-based applications is analyzed and illustrated. A set of telecommunication circuits and systems to illustrate and evaluate models, methods, and tools is selected. The power consumption calculator is designed. An educational blog focused on FPGA-related learning is developed. The interactive multimedia learning tools, including step-by-step tutorials, virtual laboratories, and simulations with a focus on power optimization are designed. The student's feedback regarding the experience of using the educational blog are collected and analyzed.

An innovative methodology to support students' e-learning in the area of low power FPGA-based design is presented in this thesis. 10 benchmark and 9 advanced telecommunication schemes and systems, like Processing unit, DDS sinusoidal generator, Hardware encryption circuits XOR/NXOR, MUX and Flip-flop based with n -bit keys, hardware encryption for unmanned system, and IoT, for reducing energy consumption have been studied. For this purpose, methods such as: clock gating, physical optimization, Dynamic Voltage and Frequency Scaling (DVFS), manual/versus generated VHDL code, multiple design solutions evaluation, ultra-low power consumption methods, are implemented. 8 different VHDL codes to illustrate and experiment the factors and how do they affect the power consumption are designed.

Innovative methods of power consumption optimization are studied and analyzed. This thesis can be used for industry-oriented problems and challenges and supports students in acquiring the skills needed for the labor market. The edublog, which integrates a blended methodology, including project-based learning (PBL), interactive exercises, and real-time feedback, to improve the understanding of complex FPGA topics, is designed.

All this determines the relevance and significance of the researched problem and the tasks set in the dissertation, 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.

In this doctoral thesis are used 290 literature sources. Most of them are from the last 10 years. In the literature review and the analysis of research methodology and methods planned for the study, which are presented respectively in chapter 1 and chapter 2, are cited more than 270 references.

This gives me reason to believe that PhD student Marsida Ibro is familiar with the current state of the problems posed by her, which is the basis for successful solution of the defined tasks.

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

PhD student Marsida Ibro has formulated a goal and tasks that are adequate and meet the requirements for dissertation work for obtaining the educational and scientific degree "Doctor".

The literature review identified different gaps, which are related to inadequate power reduction resources, restricted access to simulation tools, and the lack of real-time interactive educational tools. The chosen methodology to support learning low power FPGA-based design in telecommunications includes: 33 FPGA-based commercial or free e-learning applications estimated for low power design features; Definition of an exhaustive set of 10 factors affecting FPGA power consumption; Selection of 7 most used methods for low power FPGA-based design + 7 physical optimization methods not specifically focused on low power design; Selection of illustrative telecommunication circuits and systems, definition of sets with method/factor/model evaluation/estimation for a selected telecommunication circuit or system/Study/Evaluation/Conclusions; Design of Educational Blog, web-based calculators/Multimedia and Augmented reality tools; Courses/Modules/ Probation/Students feedback.

4. Brief analytical description of the doctoral thesis and assessment of the reliability of the material on which the contributions of the dissertation are built.

The presented dissertation consists of 155 pages of text and 126 pages of annexes, very well structured in five chapters, list of publications, list of cited papers, lists of figures and tables, lists of abbreviations, introduction, contributions, limitations, future work and references.

In Chapter I is performed literature review. The state-of-the art methods, models, and multimedia tools for the design of communication circuits on programmable logic with low power consumption are analyzed. Different FPGAs application, such as Digital Signal Processing (DSP), telecommunication, aerospace, automotive, industrial automation, Artificial Intelligence (AI), Machine Learning (ML), networking, medical devices, and electronic learning (e-learning), are considered from the power consumption's point of view. The opportunities offered by FPGA-based e-learning multimedia tools for student's educations to learn and experiment with FPGA programming, logic design and simulations are discussed. There are presented different existing web-based FPGA tools, which focus on offering features related to study low power consumption. Analytical analysis of the literature review shows the absence of real-time simulation tools, which hinder students' ability to test power-efficient FPGA designs.

A comprehensive analysis of the factors affecting power consumption, methods, models, and multimedia learning tools for designing communication circuits using FPGAs, is presented in Chapter II. The quantitative methods, qualitative methods and mixed-methods research approach are described. The factors that influence the power consumption of FPGAs, like design activity, device selection, environmental conditions, resource utilization, signal switching, development (behavioral versus structural), reconfigurability, and integration with other tools, are analyzed. Different power optimization methods in FPGAs designs, such as clock-related methods, power-aware placement, critical path aware placement optimization, heat dissipation optimization, power-routing optimization, partial reconfiguration optimization, Dynamic Frequency Voltage Scaling (DFVS), are presented. Power consumption models for FPGAs are presented. The available FPGA-based tools implemented for power estimation models are discussed and compared. The study and analysis

of Direct Digital Synthesizer (DDS), Internet of Things (IoT), Hardware Encryption Logic Techniques and Processing Unit in terms of power consumption is integrated into an online edublog. The implementation of an Augmented Reality (AR) application for estimation of power consumption of FPGAs for teaching purposes is considered.

In Chapter III is proposed methodology to support learning low power FPGA-based design in telecommunications. Power consumption optimization methods based on clock gating is evaluated using 10 benchmark circuits. The focus is effect over the dynamic power consumption of the chosen circuits. The effect of physical optimization methods over the dynamic and static power consumption of the 10-benchmark circuits is investigating with Vivado. The impact of Dynamic Frequency Voltage Scaling (DFVS) low power consumption for Processing Unit designed on FPGA is estimated. The received results show that DVFS technique is more effective on dynamic power consumption compared to static power. The impact of the optimized VHDL code to Direct Digital Synthesis (DDS) sine generator over the power consumption is evaluated. An in-depth analysis was conducted on the power consumption and resource utilization of various logic encryption techniques, including XOR/XNOR-based, MUX-based, and path sensitization, in the FPGA logic design. The investigations show that MUX-based encryption is the most suitable option for low-power FPGA designs. The estimation of power consumption in hardware solution for cybersecurity of unmanned systems show that in encrypted and non-encrypted FPGA designs revealed that dynamic power consumption is the dominant factor.

The implementation of Edublog (educational blog) dedicated to FPGA-based digital design education, with a special focus on different factors affecting power consumption and application of different low-power FPGA-based design techniques in telecommunication, is presented Chapter IV. The web based calculator is designed. The dynamic, static and total power consumption of FPGA can be calculated at different values of input parameters, such as power supply voltage, operating frequency and capacitance. The students can use the graphical visualization of the calculator in order to have more clear view of the power consumption as a function of input parameters. An interactive learning application focusing on FPGA power consumption is developed using AR, emphasizing the

creation of 3D models. Students can manipulate virtual FPGA designs and participate in interactive learning modules in various scenarios.

In Chapter V are presented multimedia learning tools developed to support students to learn through different applications of the principles of energy-efficient FPGA design. Different tools such as power estimators, analyzers and comparators are studied and evaluated for the purpose of power consumption. A set of experiments are published in the edublog as step-by-step simulations of a set of circuits in the fields of communication, IoT, signal generation, processing unit and hardware security. The student's feedback and progress is analyzed using a structured questionnaire designed targeting blog users. The questionnaire targets students with diverse backgrounds and varying levels of expertise in FPGA technology. 54 responses were gathered from students enrolled in Western Balkans University in the first cycle of studies of Bachelor's degrees in Computer Science and Artificial Intelligence, Software Engineering, and Cybersecurity. The received results are graphically presented and analyzed.

5. Scientific, scientific-application and application contribution of the dissertation.

In the doctoral thesis the author has indicated 13 contributions. Ten of them are scientific, two of the indicated contributions are scientific-application and one is application contributions. I accept the contributions formulated by the PhD student Marsida Ibro, which can be summarized as follows:

- An innovative methodology is developed to support students' e-learning in the area of low power FPGA-based design.
- 10 benchmark and 9 advanced telecommunication circuits and systems were studied for reducing the design power consumption. 8 different VHDL codes are designed to illustrate and experiment the factors and how do they affect the power consumption.
- The FPGAeduLab educational blog is designed and implemented specifically to improve student understanding of the factors, methods, models and tools for power consumption in various FPGA-based designs.
- A user-oriented power consumption calculator and graphical representation of power consumption were developed.

- Interactive multimedia learning tools, including step-by-step tutorials, virtual laboratories, and simulations, have been developed to enhance the comprehension of FPGA design principles, with an emphasis on power optimization.
- An AR application to better visualize the impact of design in power consumption is created
- Student's feedback and assessment regarding the experience of using the FPGAeduLab educational blog is conducted.

I believe that the results obtained are original and fully comply with the requirements for dissertation work for obtaining the educational and scientific degree "Doctor".

6. Assessment of the degree of personal participation of the dissertation in the contributions.

For the personal contributions of the PhD student judges from the fact that she has one independent scientific paper, and in nine of the others she is the first co-author. This gives me reason to accept that the dissertation and contributions are the personal work of the candidate.

7. Evaluation of dissertation publications. Reflection in science.

Twelve publications have been made on the dissertation. Three of the papers are reported at conferences in Bulgaria. Eight of the articles are referenced in Scopus. She is co-author of a book chapter referenced in Scopus.

The publications made exceed the minimum requirements for the award of the educational and scientific degree "Doctor". I accept that the main results of the dissertation are available to the international and Bulgarian scientific community.

8. Application of the results of the dissertation in scientific and social practice.

It is very positive that the realized researches of the PhD student developed in the framework of the Joint Doctoral Program "These en Cotutelle" in the CEEPUS NETWORK number: CIII-BG-1103-06-2122

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 abstract fully reflects the content and results obtained in the dissertation, emphasizing the main contributions. Also, the requirements for the preparation of abstracts at the Technical University - Sofia are fully met. Therefore I gave a positive feedback on its printing.

10. Critical remarks and recommendation

All recommendations and remarks made by me in the preliminary statement, as well as in the preliminary discussion of the dissertation are fulfilled.

11. Conclusion

I believe that the doctoral thesis "Development of methods, models, and multimedia learning tools for the design of communication circuits on programmable logic (FPGA) with low energy consumption" by PhD student Marsida Ibro meets the requirements of the Law on the Development of Academic Staff in the Republic of Bulgaria and the Regulations for its implementation. I accept that the conclusions and conclusions made are logically and competently constructed.

Based on the scientific, scientific-application and applied contributions received in the dissertation, the demonstrated educational level and accumulated theoretical and practical experience, the presented scientific papers, I propose to the Scientific Jury to award the scientific degree "Doctor" in professional field 5.3 Communication and computer engineering, scientific specialty "Computer-aided engineering and computer-aided design systems" to Marsida Ibro.

3.12.2025 r.

Reviewer: 
(Assoc. prof. Tihomir Brusev)