

ОПН 78-НС 1-091
18.12.2025

РЕЦЕНЗИЯ

върху 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 автоматизирано проектиране“

Автор на дисертационния труд:

Маг. Марсида Ъбро

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

Член на научното жури (Рецензент):

доц. д-р инж. Адриана Бороджиева

Русенски университет „Ангел Кънчев“, факултет „Електротех-
ника, електроника и автоматика“, катедра „Телекомуникации“
гр. Русе – 7017, ул. „Студентска“ № 8

**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**

Бързото развитие на цифровите комуникационни технологии доведе до необходимостта от схеми, които са ефективни, гъвкави и енергоспестяващи. Програмируемите логически решетки (FPGA) са от ключово значение поради тяхната адаптивност, възможност за преконфигуриране и висока производителност в много области на приложение. Тяхната препрограмируема природа е особено полезна в телекомуникациите, където решенията трябва да бъдат съобразени с променящите се изисквания. Енергийната ефективност сега е основно предизвикателство за проектирането на FPGA схеми, особено за устройства, захранвани с батерии, и преносими устройства. В съответствие с Европейския зелен пакт и целите за глобална устойчивост, нискоенергийната електроника се превърна в технологичен императив.

Въпреки че много техники за оптимизация на FPGA са усъвършенствани, постигането както на ниска консумация на енергия, така и на висока производителност в комуникационните схеми остава трудно. Проектантите трябва да балансират компромисите между мощност, производителност и

сложност на внедряването, което изисква систематични подходи, които съчетават теоретични познания с практически тактики на проектиране.

Използването на мултимедийни образователни ресурси в учебните среди на FPGA е недостатъчно проучено. Докато техническата литература обхваща оптимизацията на мощността на FPGA, сравнително малко трудове предлагат техники, приложими както в академичен, така и в индустриален контекст. Тази празнина мотивира настоящото изследване, което съчетава техническо проучване с педагогически иновации.

Тази дисертация разработва методи, модели и мултимедийни инструменти за обучение, за да подобри проектирането и разбирането на нискоенергийни FPGA комуникационни схеми. Технически, тя идентифицира и оценява основните фактори, допринасящи за потреблението на енергия от FPGA, и препоръчва стратегии за оптимизация за области като директен цифров синтез (DDS), процесорни устройства (PUs), логически модули за хардуерно криптиране и устройства от Интернет на нещата (IoT). В образователен план, тя включва интерактивна мултимедия – образователни блокове, уеб-базирани помощни програми и добавена реалност – в обучението по FPGA. Чрез комбиниране на теоретични рамки с практически експерименти по проектиране, работата се стреми да усъвършенства както енергийно-осъзнатото проектиране на схеми, така и достъпното, интерактивно FPGA обучение.

Приносът на изследването е двоен: първо, то предоставя нови прозрения за оптимизацията на мощността на FPGA чрез анализ и сравнително внедряване на различни методи в реални схеми; второ, то създава и валидира мултимедийни инструменти, които преодоляват разликата между техническите изследвания и преподавателската практика, подобрявайки начина, по който се изучават и прилагат FPGA концепциите. Заедно тези приноси подкрепят устойчиви цифрови комуникационни технологии и укрепват педагогическите основи на FPGA обучението.

Дисертацията е организирана както следва:

Глава I: Изчерпателен преглед на литературата за съвременни методи, модели и мултимедийни образователни инструменти за проектиране на нискоенергийни комуникационни схеми върху FPGA.

Глава II: Описание на количествените и качествените методи, използвани за изследване на факторите, влияещи върху консумацията на енергия в телекомуникационните схеми на FPGA; представяне на методи, модели и мултимедийни ресурси, насочени към подобряване на разбирането и експериментирането за избрани FPGA системи, включително IoT, DDS, процесорни устройства, хардуерно криптиране и образователни блокове.

Глава III: Експериментални резултати от внедрените FPGA приложения, с акцент върху измерената консумация на енергия.

Глава IV: Анализ и обсъждане на основните констатации; проектиране и подготовка на образователен блог и свързани с него учебни материали за предоставяне на достъпни, интерактивни учебни ресурси.

Глава V: Описание на курса, преподаван чрез edublog, анализ на обратната връзка от студентите, обобщение на изследователските приноси и изпълнените задачи, както и предложения за бъдеща работа.

Приложения: Допълнителни материали, включително експериментален код, подкрепяща документация и подробни набори от данни.

Посочените задачи (идентифициране на фактори, сравняване на методи и модели, прилагане на казуси, изграждане на образователни артефакти и събиране на обратна връзка от студентите) са последователни и подходящо обхватни за докторска работа. Като цяло формулировката на проблема и задачите показват висока научно-приложна актуалност.

Всичко това определя актуалността и значимостта на разглеждания в дисертационния труд проблем в научен и научно-приложен план.

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

Дисертационният труд е в обем от 157 страници, като включва въведение, 5 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, ограничения и бъдеща работа, списъци на фигурите, таблиците и съкращенията, списък на публикациите по дисертацията, списък на известните цитирания и списък на използваната литература. В допълнени са приложени 8 анекса с обем от 126 страници. В дисертационния труд има общо 52 фигури и 24 таблици.

Реализираното литературно проучване е въз основа на 290 литературни източници, като всички са на латиница (в това число и уебсайтове) и повечето са от последните 10 години.

Дисертацията представя широк, актуален анализ на литературата, обхващащ техники за захранване на FPGA, инструменти от доставчици, дистанционни лаборатории и мултимедийни платформи за електронно обучение. Прегледът синтезира литература на ниво устройство, архитектура и педагогика и подчертава пропуските (липса на инструменти за електронно обучение, фокусирани върху захранването, ограничена симулация в реално време за студенти). Кандидатът показва добро владение на инструменти от доставчици и съвременни насоки на изследване и интерпретира литературата креативно, като комбинира техническа оптимизация с педагогически иновации (напр. вграждане на AR и онлайн калкулатор за захранване в учебния процес). Обхватът е изчерпателен за целите на дисертационния труд; препратките към конкретни инструменти и пакети за оценка на захранването подсилват прегледа.

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

Дисертационният труд има за цел да създаде нова методология, която демонстрира методите, моделите и техниките за оптимизация с ниска консумация на енергия за FPGA реализации на избрани телекомуникационни

схеми и системи. Тези разработки ще бъдат представени в образователен блог, който включва нови онлайн калкулатори, мултимедийни инструменти и инструменти за добавена реалност, връзки към ресурси за проектиране с ниска консумация на енергия, както и учебни/оценяващи материали и уроци, които ще помогнат на студентите да научат проектирането на FPGA с ниска консумация на енергия за телекомуникации.

Осем изследователски задачи са формулирани, както следва:

Задача 1 – Анализ на факторите на мощността: Проучване и оценка на различните фактори, които влияят върху консумацията на енергия на FPGA.

Задача 2 – Преглед на съществуващите подходи: Извършване на задълбочен преглед на настоящите методи, модели и инструменти за проектиране на FPGA с ниска консумация на енергия.

Задача 3 – Количествено определяне на ефектите от оптимизацията: Демонстриране и количествено определяне на това как различните техники за оптимизация влияят върху консумацията на енергия в FPGA приложенията.

Задача 4 – Избор на телекомуникационни бенчмаркове: Избор на представителен набор от телекомуникационни схеми и системи, които да служат като казуси за оценка на модели, методи и инструменти.

Задача 5 – Създаване на калкулатор и визуализатор за мощност: Разработване на интуитивен калкулатор за консумация на енергия с графични визуализации в подкрепа на анализа и обучението.

Задача 6 – Създаване на образователен блог: Разработване на блог, ориентиран към потребителя, посветен на обучението по FPGA, който обединява инструменти, обяснения и ресурси.

Задача 7 – Разработване на интерактивни инструменти за обучение: Създаване на интерактивни мултимедийни ресурси – подробни уроци, виртуални лаборатории и симулации – фокусирани върху техники за оптимизация на мощността.

Задача 8 – Събиране на обратна връзка от студентите: Събиране и анализ на обратната връзка от студентите относно техния опит с използването на образователния блог и неговите ресурси.

Тази работа има за цел да усъвършенства енергийно ефективните практики за проектиране на FPGA и да направи висококачествените, практични учебни ресурси по-достъпни за студентите в областта на телекомуникациите.

Дисертацията очертава изследователския процес и теоретичните основи, необходими за работата. Установяването на методология за инженерно проучване изисква структуриран подход, който ефективно разглежда изследователските въпроси, хипотези или постановки на проблемите. Първата глава разглежда алтернативни подходи, анализира доказателствата и интерпретира резултатите. Комбинирането на различни методологични перспективи дава по-пълна картина на поведението на мощността в FPGA проектите.

Количествени методи се прилагат за систематично измерване и анализ на консумацията на енергия на FPGA. Чрез контролирани експерименти и

тестове на ниво устройство в множество сценарии се измерват и характеризират както статичните, така и динамичните компоненти на мощността. Емпиричните измервания се комбинират с теоретични модели, за да се определи количествено как различните фактори влияят върху използването на ресурси и консумацията на енергия, което подпомага подобренията в оптимизацията на дизайна.

Качествените методи изследват дизайнерските практики, потребителското изживяване и контекстуалните фактори, които влияят върху поведението на мощността на FPGA. Техники като задълбочени интервюта, наблюдение с участието и анализ на съдържанието предоставят богати, контекстуализирани прозрения за енергийно ефективни принципи на проектиране и тяхното практическо приложение.

Приета е стратегия със смесени методи, за да се използват силните страни както на качествените, така и на количествените подходи. Количествените техники предоставят измерими, обобщаеми данни; качествените техники осигуряват задълбочено и контекстуално разбиране. Интегрирането на емпирични измервания, прогнозни симулации и доказателства от казуси води до по-пълнен анализ на стратегиите за оптимизация на мощността на FPGA.

Данните се събират с помощта на три допълващи се подхода:

1) Експериментален: Директни измервания на мощността с инструменти, свързани към FPGA платки при различни конфигурации и работни условия. Събиране на показатели за производителност, наред с данни за мощността, за да се оцени въздействието на техниките за оптимизация.

2) Базиран на симулация: Използване на инструменти за моделиране на FPGA (например симулатори на доставчици) за оценка на мощността за дадени дизайнерски решения, честоти и напрежения. Кръстосана валидация между симулирани оценки и експериментални измервания за потвърждаване на точността на модела и ефикасността на стратегиите за управление на мощността.

3) Преглед на казус: Разглеждане на техническа документация, проектни спецификации и отчети за оптимизации от съществуващи FPGA приложения за идентифициране на реални модели на мощност и по-рано възприети техники.

За обратна връзка от студенти и анализ на образователни данни се използва статистически софтуер в подкрепа на решенията, основани на данни. Описателната статистика (средна стойност, медиана, мода, стандартно отклонение, честоти) обобщава отговорите. Анализът на надеждността (алфа на Кронбах) проверява съгласуваността на анкетата. Факторният анализ разкрива латентни измерения в данните от обратната връзка. Корелационни, t-тестове, ANOVA и регресионен анализ се използват за изследване на взаимовръзки, сравняване на групи и прогнозиране на резултати, като например удовлетвореност на студентите, въз основа на променливи като методи на преподаване и ресурси. Тези количествени анализи дават информация за подобрения в образователния блог и учебните материали.

Методологията на дисертацията следва ясна логическа последователност, а експерименталните изследвания се основават на предварително разработена методология.

Целта и задачите, формулирани от докторанта, съответстват на изискванията за дисертация за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“.

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

Представените в дисертацията материали са доклади от синтеза от Vivado, реализирани проекти на ZedBoard, генериран/оптимизиран VHDL, данни от въпросници (54 студентски отговори) и малък пилотен тест (3 студенти). Емпиричните измервания са получени от стандартни инструменти и хардуер (отчети за мощност на Vivado, имплементиран нетлист), които са общоприети в изследванията на мощността на FPGA. Размерът на извадката от въпросника (54) е адекватен за първоначален анализ на използваемостта; алфа на Кронбах (.843) предполага вътрешна съгласуваност; факторният анализ изглежда правилно приложен за изследователски цели. Емпиричната база е солидна за сравнителни и образователно-оценителни цели.

5. Научни и/или научно-приложни приноси на дисертационния труд

В представената дисертация докторантът е формулирал приноси от научен, научно-приложен и приложен характер. Приемам приносите, но според мен те могат да бъдат обобщени и класифицирани като научно-приложни и/или приложни.

1. Въз основа на цялостен преглед на съществуващите методи, модели и инструменти за образователен дизайн, базиран на FPGA, извършен в дисертацията, е създадена нова методология за електронно обучение в областта на дизайна на FPGA с ниска консумация на енергия: тя е свързана с 34 търговски и безплатни инструмента, идентифицира 10 фактора, които влияят върху консумацията на енергия на FPGA, избира 7 техники за оптимизация с ниска консумация на енергия и 7 подхода за физическа оптимизация, избира елементарни и напреднали телекомуникационни схеми/системи за изследване и дефинира набори за оценка (метод/фактор/модел), съобразени със специфични телекомуникационни схеми. Методологията е валидирана чрез внедряване в специално създаден образователен блог (FPGAeduLab).

2. Проведени са емпирични изследвания върху 10 бенчмарк и 9 усъвършенствани телекомуникационни схеми/системи (примери: процесорен блок, DDS синусоидален генератор, схеми за хардуерно криптиране, използващи XOR/NXOR, MUX и тригерни схеми с n -битови ключове, криптиране

за безпилотни системи и IoT). За всеки случай са приложени и сравнени техники за намаляване на мощността (синхронизиране на тактова честота, физически оптимизации, DVSF, ръчно спрямо автоматично генериран VHDL, множество оценки на дизайнерски решения, стратегии за ултраниска мощност). Създадени са осем различни VHDL реализации, за да се демонстрира как избрани фактори влияят върху консумацията на енергия, и са докладвани експериментални резултати с препоръки.

3. Проектиран и стартиран е образователен блог FPGAeduLab, който предоставя методологията и подпомага студентите да изучават фактори, методи, модели и инструменти за консумация на енергия от FPGA, използвайки мултимедийно и интерактивно съдържание. Разработен е калкулатор за консумация на енергия с графичен изход, ориентиран към потребителя. Създаден е интерактивен обучителен софтуер, включващ стъпка по стъпка уроци, виртуални лаборатории и симулации, фокусирани върху енергийно-осъзнатото проектиране на FPGA. Беше внедрено AR приложение, което да визуализира как дизайнерските решения влияят върху потреблението на енергия. Събрани бяха отзиви и оценки от студентите, за да се оцени обучителният опит с FPGAeduLab.

Значение на приносите:

Научно-приложно: Работата консолидира известни техники, но предоставя полезни, емпирично обосновани сравнения на една и съща платформа и ги свързва с педагогическата практика. Примерът за DDS VHDL оптимизация и измерените резултати от компромиса между криптиране и мощност предоставят практически доказателства, които могат да насочат избора на дизайн с ниска мощност.

Приложно: FPGAeduLab, калкулаторът и AR модулът са незабавно полезни образователни продукти – ценни за бакалавърски/магистърски курсове, преподаващи FPGA проектиране, съобразено с мощността.

Характер на приносите: предимно емпиричен и ориентиран към приложението с педагогически иновации; не е нова теория, а съществен практически принос (сравнения на методи, набори от данни за измерване, образователни инструменти).

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

Текстът на дисертацията и документираните реализации показват значително лично участие:

1) Проектиране и внедряване на експериментални схеми, VHDL кодиране (включително оптимизирано ръчно внедряване), Vivado-базирана реализация и анализ на мощността.

2) Разработване на образователни материали, уеб калкулатор, AR модул и провеждане на студентски изследвания.

3) Обхватът и степента на детайлност на резултатите (множество внедрени проекти, измервания, статистически студентски анализ) предполагат,

че кандидатът е извършил по-голямата част от експерименталната и педагогическата работа.

В дисертацията са изброени множество публикации в конференции и списания, в които кандидатът е първи автор или съавтор, а документираните реализации (VHDL кодове, уеб инструменти, AR модули, експериментални настройки) показват практическо развитие. Обхватът и съгласуваността на работата (технически експерименти + проектиране на образователна система + студентски анкети) предполагат значително лично участие както в техническата, така и в педагогическата част. Списъкът с публикациите, свързан с темите на дисертацията, подкрепя висока степен на личен принос от докторанта.

Оценка: висок личен принос.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд: брой, характер на изданията, в които са отпечатани. Отражение в науката – използване и цитиране от други автори

Кандидатът е публикувал множество рецензирани доклади от конференции (доклади от IEEE, индексирани в Scopus/WoS) и една статия в списание. Избраните материали са индексирани в IEEEExplore, Scopus и Web of Science и обхващат както технически, така и педагогически аспекти (DVFS, DDS, AR учебен модул, уеб калкулатор). Броят и мястото на публикациите са подходящи за докторска дисертация по инженерство.

Цитати: документът изброява цитиращите трудове и показва, че някои доклади са цитирани в последващи изследвания и доклади от конференции, което показва нарастваща видимост. Публикациите демонстрират разпространение както сред техническата, така и сред образователната аудитория.

Дисертационният труд предлага иновативна методология и учебна платформа за електронно обучение, целящи да подпомогнат проектирането на енергийно ефективни FPGA решения. Ето защо считам, че методите и средствата, разработени от докторанта, имат потенциал да бъдат комерсиализирани.

Основните постижения и резултати от дисертацията са публикувани в 12 научни публикации, разпределени по вид, както следва:

- Глава от книга, индексирана в Scopus – 1 брой (№ 5, в Monitoring and Protection of Critical Infrastructure by Unmanned Systems);

- Публикации в списания – 1 брой (№ 10 в списание International Journal of Business and Technology);

- Публикации в международни конференции и сборници на конференции, индексирани в IEEEEXPLORE, Scopus и Web of Science – 8 броя, както следва: № 1 и № 12 в сборници CoBCom на International Conference on Broadband Communications for Next Generation Networks and Multimedia Applications (Graz, Austria, 2024 г. и 2020 г.), № 2 и № 3 в сборник SIEMEN на 2023 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (Craiova,

Romania, 2023 г.), № 6, № 7 и № 8 в сборник IWSSIP на 29th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (Sofia, Bulgaria, 2022 г.), № 9 в сборник ConTEL на 16th International Conference on Telecommunications (Zagreb, Croatia, 2021 г.);

➤ Публикации в международни конференции и сборници на конференции – 2 броя, както следва: № 4 в сборника на 14th International Conference Development and Modernization of Manufacturing (Bosnia and Herzegovina, 2023 г.) и № 11 в сборник IWSSIP на 28th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, IWSSIP 2021 (Bratislava, Slovakia, 2021 г.).

От тези 12 публикации една е самостоятелна (№ 4), осем са в съавторство с научния ръководител (№ 1, № 2, № 3, № 6, № 8, № 9, № 11, № 12), като докторантът е на първо място и три са в съавторство с трети учен (№ 5, № 7, № 10) като от тях докторантът е на първо място в една от трите (№ 10). Всичко това показва, че получените в дисертационния труд резултати са личен принос на докторанта.

Докторантът е представил списък с 27 известни цитирания, като в Scopus са видими 23 цитирания.

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

Практическо приложение:

➤ FPGAeduLab, калкулаторът за мощност и приложението за добавена реалност (AR) са практически образователни продукти, които могат да бъдат възприети от университети и лаборатории за подобряване на обучението по FPGA по теми, свързани с ниска консумация на енергия.

➤ Измерените компромиси в дизайна (оптимизация на VHDL, избор на криптиране) имат прагматична стойност за проектантите, които избират компромиси между ниска консумация на енергия и сигурност в реални FPGA проекти.

Икономически ефект:

Дисертационният труд не представя количествено определено икономическо въздействие (икономии на разходи, внедряване в голям мащаб), но инструментите и насоките могат да намалят итерациите на разработка и бюджетите за енергия в целеви приложения (IoT, беспилотни системи). Потенциалната икономическа полза е правдоподобна, но не е изрично измерена.

Като цяло: ясна образователна и техническа приложимост, пряко икономическо въздействие не е демонстрирано, но е вероятно на ниво проект/продукт.

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 с обем от 32 страници. Като структура е оформен съгласно изискванията на нормативните документи и представя основните глави на дисертационния труд, както и обобщените приноси. Отразени са апробациите на получените резултати. Номерацията на фигурите и таблиците в автореферата съответства на тези в дисертацията.

10. Мнения, препоръки и бележки.

Силните страни на дисертацията могат да бъдат формулирани, както следва:

- Добре обхваната интеграция на технически експерименти и педагогически иновации.
- Солиден публикационен опит и демонстрационни материали (калкулатор, EduBlog, AR).
- Подходящи методологии (измервания с Vivado/VCD, SPSS анализ) и добър избор от представителни схеми.

Нямам съществени коментари по дисертацията. Препоръките и забележките, направени от мен, в предварителното мнение, както и на предварителното обсъждане на дисертационния труд, са изпълнени.

Препоръчвам на докторанта, в бъдещата си научна и преподавателска дейност, да засили публикациите си в системите Scopus и Web of Science, както и в списания с импакт фактор.

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

Представеният дисертационен труд отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България и Правилника за неговото прилагане, а също така и на Процедурните правила за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности на Технически университет, София. Давам положителна оценка на дисертационния труд и предлагам на **маг. Марсида Ибро** да бъде присъдена образователната и научна степен „доктор“ по научната специалност „Автоматизация на инженерния труд и системи за автоматизирано проектиране“, професионално направление 5.3. Комуникационна и компютърна техника.

Дата: 17.12.2025 г.

Член на журито, рецензент:...

/доц. д-р Адриана Бороджиева/

OTK 78-HCT-091
18.12.2025

REVIEW

on a dissertation work for the acquisition of an educational and scientific degree "Doctor" (PhD)

Scientific area: 5.3. "Communication and Computer Engineering"

Doctoral program: "Computer-Aided Engineering and Systems for Design Automation"

Author of the dissertation:

Marsida Ibro

Dissertation topic:

DEVELOPMENT OF METHODS, MODELS, AND MULTIMEDIA LEARNING TOOLS FOR THE DESIGN OF COMMUNICATION CIRCUITS ON PROGRAMMABLE LOGIC (FPGA) WITH LOW ENERGY CONSUMPTION

Member of the Scientific Jury (Reviewer):

Assoc. Prof. Eng. Adriana Borodzhieva, PhD

University of Ruse "Angel Kanchev", Faculty of Electrical Engineering, Electronics and Automation, Department of Telecommunications

7017 Ruse, 8 Studentska Str.

1. Relevance of the problem developed in the dissertation work in scientific and scientific-applied terms. Degree and levels of relevance of the problem and specific tasks developed in the dissertation

The fast-paced development of digital communication technologies has driven the need for circuits that are efficient, flexible, and power-conscious. Field-Programmable Gate Arrays (FPGAs) are pivotal because of their adaptability, reconfigurability, and strong performance across many application areas. Their reprogrammable nature is especially beneficial in telecommunications, where solutions must be tailored to changing requirements. Energy efficiency is now a primary challenge for FPGA circuit design, particularly for battery-powered and portable devices. In line with the European Green Deal and global sustainability targets, low-energy electronics have become a technological imperative.

Although many FPGA optimization techniques have been advanced, achieving both low power consumption and high performance in communication circuits remains difficult. Designers must balance trade-offs among power, performance, and implementation complexity, which calls for systematic approaches that pair theoretical insight with practical design tactics.

The use of multimedia educational resources within FPGA learning environments has been insufficiently explored. While the technical literature covers FPGA power optimization, relatively few works propose techniques applicable in both academic and industrial contexts. This gap motivated the current study, which blends technical investigation with pedagogical innovation.

This thesis develops methods, models, and multimedia teaching tools to improve the design and comprehension of low-power FPGA communication circuits. Technically, it identifies and assesses the main contributors to FPGA power use and recommends optimization strategies for areas such as Direct Digital Synthesis (DDS), processing units (Pus), hardware encryption logic modules, and Internet of Things (IoT) devices. Educationally, it incorporates interactive multimedia – educational blogs, web-based utilities, and augmented reality – into FPGA instruction. By combining theoretical frameworks with hands-on design experiments, the work seeks to advance both energy-aware circuit design and accessible, interactive FPGA education.

The study's contributions are twofold: first, it provides new insights into FPGA power optimization through analysis and comparative implementation of various methods in real circuits; second, it creates and validates multimedia tools that bridge the gap between technical research and teaching practice, improving how FPGA concepts are learned and applied. Together, these contributions support more sustainable digital communication technologies and reinforce the pedagogical foundations of FPGA education.

The thesis is organized as follows:

Chapter I: A comprehensive literature review of current methods, models, and multimedia educational tools for designing low-power communication circuits on FPGAs.

Chapter II: Description of the quantitative and qualitative methods used to investigate factors affecting power consumption in FPGA telecommunication circuits; presentation of methods, models, and multimedia resources aimed at improving understanding and experimentation for selected FPGA systems, including IoT, DDS, processing units, hardware encryption, and educational blogs.

Chapter III: Experimental results from the implemented FPGA applications, with emphasis on measured power consumption.

Chapter IV: Analysis and discussion of the main findings; design and preparation of an educational blog and associated teaching materials to provide accessible, interactive learning resources.

Chapter V: Description of the course delivered via the edublog, analysis of student feedback, summary of research contributions and tasks completed, and proposals for future work.

Annexes: Supplementary material including experiment code, supporting documentation, and detailed datasets.

The stated tasks (identifying factors, comparing methods and models, implementing case studies, building educational artefacts and collecting student

feedback) are coherent and suitably scoped for a doctoral work. Overall the problem formulation and tasks show high scientific-applied relevance.

All this determines the relevance and significance of the problem considered in the dissertation work in scientific and scientific-applied terms.

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

The dissertation is in a volume of 157 pages, including an introduction, 5 chapters to address the formulated main tasks, a list of main contributions, limitations and future work, lists of figures, tables and abbreviations, a list of publications on the dissertation, a list of known citations, a list of used literature sources (references). 8 annexes with a volume of 126 pages are attached as supplements. The dissertation contains a total of 52 figures and 24 tables.

The literature review is based on 290 literature sources (including websites), all of which are in Latin and most of which are from the last 10 years.

The thesis presents a broad, up-to-date literature analysis across FPGA power techniques, vendor tools, remote laboratory and multimedia e-learning platforms. The review synthesizes device-level, architecture-level and pedagogical literatures and highlights gaps (lack of power-focused e-learning tools, limited real-time simulation for students). The candidate shows good command of vendor tools and contemporary research directions and interprets the literature creatively by combining technical optimization with pedagogical innovations (e.g., embedding AR and an online power calculator in the learning pipeline). Coverage is comprehensive for the thesis goals; references to concrete tools and power estimation suites strengthen the review.

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

The thesis aims to create a novel methodology that demonstrates the methods, models, and low-power optimization techniques for FPGA implementations of selected telecommunication circuits and systems. These developments will be packaged in an educational blog that includes new online calculators, multimedia and augmented-reality tools, links to low-power design resources, and teaching/evaluation materials and tutorials to help students learn low-power FPGA design for telecommunications.

Eight research tasks are formulated as follows:

Task 1 – Analyze power factors: Investigate and assess the various factors that influence FPGA power consumption.

Task 2 – Review existing approaches: Perform a thorough review of current methods, models, and tools for low-power FPGA design.

Task 3 – Quantify optimization effects: Demonstrate and quantify how different optimization techniques impact power consumption across FPGA applications.

Task 4 – Select telecom benchmarks: Choose a representative set of telecommunication circuits and systems to serve as case studies for evaluating models, methods, and tools.

Task 5 – Build a power calculator and visualiser: Develop an intuitive power-consumption calculator with graphical visualizations to support analysis and learning.

Task 6 – Create an educational blog: Develop a user-centred blog dedicated to FPGA learning that aggregates tools, explanations, and resources.

Task 7 – Develop interactive learning tools: Produce interactive multimedia resources – step-by-step tutorials, virtual labs, and simulations – focused on power optimization techniques.

Task 8 – Gather student feedback: Collect and analyze students' feedback on their experience using the educational blog and its resources.

This work intends to advance energy-efficient FPGA design practices and make high-quality, practical learning resources more accessible to students in telecommunications.

This thesis outlines the research process and the theoretical foundations required for the work. Establishing a methodology for an engineering study demands a structured approach that effectively addresses the research questions, hypotheses, or problem statements. The first chapter reviewed alternative approaches, analyzed the evidence, and interpreted the findings. Combining different methodological perspectives yields a fuller picture of the power behavior in FPGA designs.

Quantitative methods are applied to measure and analyze FPGA power consumption systematically. Through controlled experiments and device-level testing across multiple scenarios, both static and dynamic power components are measured and characterized. Empirical measurements are combined with theoretical models to quantify how different factors influence resource use and power draw, supporting improvements in design optimization.

Qualitative methods investigate design practices, user experience, and contextual factors that affect FPGA power behavior. Techniques such as in-depth interviews, participant observation, and content analysis provide rich, contextualized insights into power-efficient design principles and their practical application.

A mixed-methods strategy is adopted to leverage the strengths of both qualitative and quantitative approaches. Quantitative techniques provide measurable, generalizable data; qualitative techniques supply depth and contextual understanding. Integrating empirical measurements, predictive simulations, and case-study evidence produces a more complete analysis of FPGA power-optimization strategies.

Data are gathered using three complementary approaches:

- 1) Experimental: Direct power measurements with instrumentation connected to FPGA boards under varied configurations and operating conditions. Collection of performance metrics alongside power data to assess the impact of optimizations techniques.

2) Simulation-based: Use of FPGA modelling tools (for example vendor simulators) to estimate power for given design choices, frequencies, and voltages. Cross-validation between simulated estimates and experimental measurements to confirm model accuracy and the efficacy of power-management strategies.

3) Case-study review: Examination of technical documentation, design specifications, and optimizations reports from existing FPGA applications to identify real-world power patterns and previously adopted techniques.

For student-feedback and educational-data analysis, statistical software is employed to support data-driven decisions. Descriptive statistics (mean, median, mode, standard deviation, frequencies) summarize responses. Reliability analysis (Cronbach's alpha) checks survey consistency. Factor analysis uncovers latent dimensions in feedback data. Correlation, t-tests, ANOVA, and regression analyses are used to explore relationships, compare groups, and predict outcomes such as student satisfaction based on variables like teaching methods and resources. These quantitative analyses inform improvements to the educational blog and instructional materials.

The methodology of the dissertation follows a clear logical sequence, and the experimental studies are based on the previously developed methodology.

The goal and tasks formulated by the doctoral student correspond to the requirements for a dissertation for the acquisition of the educational and scientific degree "Doctor".

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

The materials presented in the thesis are synthesis reports from Vivado, implemented designs on ZedBoard, generated/optimized VHDL, questionnaire data (54 student responses), and small pilot quiz (3 students). The empirical measurements are produced from standard tools and hardware (Vivado power reports, implemented netlist), which are commonly accepted in FPGA power studies. The questionnaire sample size (54) is adequate for initial usability analysis; Cronbach alpha (.843) suggests internal consistency; factor analysis appears correctly applied for exploratory purposes. The empirical base is solid for comparative and educational-evaluation aims.

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

In the presented dissertation, the doctoral student has formulated contributions of a scientific, scientific-applied and applied nature. I accept the contributions, but in my opinion, they can be summarized and classified as scientific-applied and/or applied.

1. Based on a comprehensive review of existing methods, models, and tools for FPGA-based educational design performed in the thesis, a novel methodology for

e-learning in low-power FPGA design was created: it links to 34 commercial and free tools, identifies 10 factors that affect FPGA power consumption, selects 7 low-power optimization techniques and 7 physical optimization approaches, chooses elementary and advanced telecom circuits/systems for study, and defines evaluation sets (method/factor/model) tailored to specific telecom circuits. The methodology was validated through implementation in a purpose-built Educational Blog (FPGAeduLab).

2. Empirical studies on 10 benchmark and 9 advanced telecommunication circuits/systems were carried out (examples: processing unit, DDS sinusoidal generator, hardware encryption circuits using XOR/NXOR, MUX and flip-flop designs with n-bit keys, encryption for unmanned systems and IoT). For each case, power-reduction techniques were applied and compared (clock gating, physical optimizations, DVFS, manual versus auto-generated VHDL, multiple design-solution evaluations, ultra-low-power strategies). Eight different VHDL implementations were produced to demonstrate how selected factors influence power consumption, and experimental results with recommendations were reported.

3. An educational blog FPGAeduLab was designed and launched to deliver the methodology and support student learning about factors, methods, models, and tools for FPGA power consumption, using multimedia and interactive content. A user-facing power-consumption calculator with graphical output was developed. Interactive instructional software was created, including step-by-step tutorials, virtual labs, and simulations focused on power-aware FPGA design. An AR application was implemented to help visualize how design choices affect power usage. Student feedback and assessments were collected to evaluate the learning experience with FPGAeduLab.

Significance of the contributions:

Scientific-applied: The work consolidates known techniques but provides useful, empirically grounded comparisons on the same platform and links them to pedagogical practice. The DDS VHDL optimization example and the measured encryption-power trade-off findings provide practical evidence that can guide low-power design choices.

Applied: FPGAeduLab, the calculator, and AR module are immediately useful educational products – valuable for undergraduate/graduate courses teaching power-aware FPGA design.

Nature of contributions: mainly empirical and application-oriented with pedagogical innovation; not a new theory but substantive practical contributions (methods comparisons, measurement datasets, educational tools).

6. Assessment of the degree of the dissertation candidate's personal participation in the contributions

The thesis text and documented implementations indicate substantial personal involvement:

1) Design and implementation of experimental circuits, VHDL coding (including optimized manual implementation), Vivado-based implementation and power analysis.

2) Development of educational materials, web calculator, AR module and conduction of student studies.

3) The scope and granularity of results (multiple implemented designs, measurements, statistical student analysis) imply that the candidate carried out the bulk of experimental and pedagogical work.

The thesis lists multiple conference and journal publications with the candidate as first author or co-author, and the documented implementations (VHDL codes, web tools, AR modules, experimental setups) indicate hands-on development. The scope and coherence of the work (technical experiments + educational system design + student surveys) imply substantial personal involvement in both technical and pedagogical parts. The publication record linked to the thesis topics supports a high degree of personal contribution by the doctoral candidate.

Assessment: high personal contribution.

7. Evaluation of the publications on the dissertation work: number, nature of the editions in which they were printed. Reflection in science – use and citation by other authors

The candidate has published multiple peer-reviewed conference papers (IEEE proceedings indexed in Scopus/WoS) and a journal article. Selected items are indexed in IEEEXplore, Scopus and Web of Science, and cover both technical and pedagogical aspects (DVFS, DDS, AR teaching module, web calculator). The number and venue of publications are appropriate for a doctoral thesis in engineering.

Citations: the document lists citing works and shows that some papers are being referenced in subsequent research and conference proceedings – indicating growing visibility. The publications demonstrate dissemination to both technical and educational audiences.

The dissertation proposes an innovative methodology and e-learning platform aimed at supporting the design of energy-efficient FPGA solutions. Therefore, I believe that the methods and tools developed by the doctoral student have the potential to be commercialized.

The main achievements and results of the dissertation have been published in 12 scientific publications, distributed by type, as follows:

- Book chapter indexed in Scopus – 1 issue (№ 5, in Monitoring and Protection of Critical Infrastructure by Unmanned Systems);

- Publications in journals – 1 issue (№ 10 in the International Journal of Business and Technology);

- Publications in international conferences and conference proceedings indexed in IEEEXPLORE, Scopus and Web of Science – 8 issues, as follows: № 1 and № 12 in the proceedings of CoBCom of the International Conference on Broadband Communications for Next Generation Networks and Multimedia Applications (Graz, Austria, 2024 and 2020), № 2 and № 3 in the proceedings of SIEMEN of the 2023 International Conference on Electromechanical and Energy

Systems (Craiova, Romania, 2023), № 6, № 7 and № 8 in the proceedings of IWSSIP of the 29th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (Sofia, Bulgaria, 2022), № 9 in the proceedings of ConTEL of the 16th International Conference on Telecommunications (Zagreb, Croatia, 2021);

➤ Publications in international conferences and conference proceedings – 2 issues, as follows: № 4 in the proceedings of the 14th International Conference Development and Modernization of Manufacturing (Bosnia and Herzegovina, 2023), and № 11 in the IWSSIP proceedings of the 28th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, IWSSIP 2021 (Bratislava, Slovakia, 2021).

Of these 12 publications, one is independent (№ 4), eight are co-authored with the supervisor (№ 1, № 2, № 3, № 6, № 8, № 9, № 11, № 12), with the doctoral student in first place, and three are co-authored with a third scientist (№ 5, № 7, № 10), with the doctoral student in first place in one of them (№ 10). All this shows that the results obtained in the dissertation are a personal contribution of the doctoral student.

The doctoral student has presented a list of 27 known citations, with 23 citations visible in Scopus.

8. Use of the results of the dissertation work in scientific and social practice. Presence of achieved direct economic effect, etc. Documents on which the statement is based

Practical use:

➤ FPGAeduLab, power calculator, and AR app are practical educational outputs that can be adopted by universities and labs to improve FPGA teaching on low-power topics.

➤ Measured design trade-offs (VHDL optimization, encryption choices) have pragmatic value for designers choosing low-power/security tradeoffs in real FPGA projects.

Economic effect:

The thesis does not present quantified economic impact (cost savings, deployment at scale) but the tools and guidelines can reduce development iterations and power budgets in targeted applications (IoT, unmanned systems). Potential economic benefit is plausible but not explicitly measured.

Overall: clear educational and technical applicability; direct economic impact not demonstrated but likely at project/product level.

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 presented abstract is in a volume of 32 pages. Its structure is designed in accordance with the requirements of the regulatory documents and presents the main chapters of the dissertation work, as well as the summarized contributions. The

approbations of the obtained results are reflected. The numbering of the figures and tables in the abstract corresponds to those in the dissertation.

10. Opinions, recommendations and notes

Strengths of the thesis can be formulated as follows:

- Well-scoped integration of technical experiments and pedagogical innovation.
- Solid publication record and demonstrators (calculator, EduBlog, AR).
- Appropriate methodologies (Vivado/VCD measurements, SPSS analysis) and a good selection of representative circuits.

I have no significant comments on the dissertation. The recommendations and remarks made by me in the preliminary opinion, as well as in the preliminary discussion of the dissertation, have been implemented.

I recommend that the doctoral student, in her future scientific and teaching activities, strengthen her publication activities in relation to both Scopus and Web of Science systems, as well as in journals with an impact factor.

11. Conclusion with a clear positive or negative assessment of the dissertation work

The presented dissertation meets the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria and the Rules for its Implementation, as well as the Procedural Rules for the Acquisition of Scientific Degrees and the Occupancy of Academic Positions of the Technical University, Sofia. I give a positive assessment of the dissertation work and offer **M.Sc. Marsida Ibro** be awarded the educational and scientific degree "Doctor" (PhD) in the Doctoral program: "Computer-Aided Engineering and Systems for Design Automation", Scientific area 5.3. "Communication and Computer Engineering".

Date: 17.12.2025

Jury Member, Reviewer,
/Assoc. Prof. Adriana Borodzhieva, PhD/