

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“ в област на висше образование „Технически науки“, професионално направление 5.2 „Електротехника, електроника и автоматика“, научна специалност „Електрически мрежи и системи“

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Цветомир Сашков Асенов

Тема на дисертационния труд: „УПРАВЛЕНИЕ НА РЕЖИМИТЕ В МИКРО И НАНОМРЕЖИ“

Научен ръководител: доц. д-р инж. Рад Христов Станев

Рецензент: проф. д-р инж. Ангел Белчев Цолов, ТУ-София, Катедра Електроенергетика

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.

Като има пред вид динамиката и характера на промените в ЕЕС на Р. България през последните години и стратегиите заложи в European SET Plan темата на дисертационния труд е актуална. Въвеждат се в експлоатация източници на електроенергия с относително случаен режим на генерация, присъединени в различните нива от йерархията на системата, без перспективно планиране и координация. В голяма степен производство им не е подчинено на Електроенергийния Системен Оператор. От друга страна се увеличават изискванията за качество на електрическата енергия. Електроенергийните системи и елементите им вече работят в режими близки до граничните по отношение на надеждността и динамичната устойчивост. Това налага изследвания и разработване на нови технически (и икономически) решения на възникващите проблеми. Въз основа на това изследване са формулирани целта и задачите на дисертационния труд.

Дисертационният труд е в обем от 185 страници, като включва увод, 6 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 94 литературни източници, като 87 са на латиница и 2 на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо 124 фигури и 9 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

Целта на работата е да изследва съвременните подходи и методи за управление на режимните параметри в съвременни електрически микро и нано мрежи в ЕЕС, като представи резултатите получени от изследванията, проведени в рамките на дисертацията.

За постигане на поставената цел авторът е формулирал няколко перспективни задачи за изследване, които засягат предизвикателствата, свързани с управлението на съвременни ЕЕС, като се третира следните задачи:

- Анализ на микромрежи, посредством математическо моделиране;

- Управление на параметрите на микро и наномрежи, посредством физическо моделиране;
- Анализ на стратегии за управление на микро и наномрежи, чрез използване на изследвания с контролер във веригата;
- Анализ на микро и нано мрежи, посредством прилагането методи за изследване със силов хардуер във веригата.
- Разработка, реализация и изпитване на технически средства за интелигентно управление на режимните параметри в микро и нано мрежи в лабораторна среда, както и в лаборатории с близка до действителността среда, почиващи на нови, икономически ефективни софтуерни и хардуерни решения с отворен код.

Всичко това определя актуалността на изследвания проблем.

Авторът на дисертационния труд е формулирал цели и задачи, които са адекватни и съответстват на изискванията на дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“.

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

Дисертантът познава в отлична степен състоянието на проблематиката и творчески интерпретира литературния материал по нея. След анализ на специализираната литература (95 заглавия като литературна справка) ясно са дефинирани целта и задачите – разработване на математически модели и програмни и хардуерни средства, даващи по-пълна възможност за изследване влиянието на ВЕИ върху установените и преходните режими на ЕЕС.

Значителна част от публикациите от използваната литература в дисертационния труд са от последните години и са представени на реномирани международни форуми.

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

Внимателният прочит на дисертационния труд убеждава, че разработката е подчинена на следната основна линия - доказване на необходимостта от изследванията, анализ на типичните (традиционни) средства за намиране на решения (предимства и недостатъци при конкретните процеси), дефиниране на изискванията и синтез на нови, нетрадиционни средства за изследване.

Отличното познаване на актуалното състояние на изследваните проблеми, задълбочените познания, свързани с методите за проектиране, анализ и оптимизация на устройствата, позволяват на докторанта да разработи оригинални компютърни модели на устройствата, да подбере и приложи ефективни методи за изследване, както и да апробира получените резултати.

Избраната от докторанта методика на изследване е в съответствие с поставената цел и задачи на дисертационния труд и е позволила те да бъдат постигнати и решени на високо ниво.

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

Извършено е задълбочено литературно проучване на текущото състояние на системите за управление на ДЕИ, както и различните средства за контрол и оптимизация на режимите в реално време. Направен е сравнителен анализ на режимите при различните структури на мрежата. Извършените изследвания показват, че оценката на нововъзникващите технологии, стратегии за контрол и тенденции при разработка на системи за управление са от изключителна важност за определяне на стойностите на параметрите при намирането на нови решения и подобрения.

Изследванията и анализите са разпределени основно в следните пет задачи, свързани с работата на ВЕИ в разпределителните мрежи СрН, както и при микро- и нано- мрежи: Анализ на микромрежи, посредством математическо моделиране; Управление на параметрите на микро и наномрежи, посредством физическо моделиране; Анализ на стратегии за управление на разглежданите мрежи, чрез използване на изследвания с контролер във веригата; Анализ на тези мрежи, посредством прилагането методи за изследване със силов хардуер във веригата, и разработка, реализация на технически средства за интелигентно управление на режимните параметри в микро и нано мрежи, почиващи на нови, икономически ефективни софтуерни и хардуерни решения с отворен код и изпитване в лабораторна среда и в живи лаборатории с близка до действителността среда.

Във втора глава посредством аналитичен подход с математично моделиране на микромрежата са изследвани ефективността на модела на микромрежата, като са реализирани и изпитани два режима на работа: „паралелна работа със системата” и „работа на островен режим“. При първия изследван режим, генераторът се развърта до синхронни обороти, след което се регулира възбудането, до достигане на системното ниво на напрежение, след което се включва прекъсвача - Q. Вторият режим е отпадането на паралелната работа между микромрежата и системата, чрез изключване на прекъсвача - Q. Направено е сравнение на резултатите от математическия и физическия модел след реализирането на тестовия сценарий. Постигната е достатъчна степен на сходство между резултатите, получени посредством математическия и физическия модел. Правилно е заключението, че разликите се дължат се на допускането за постоянна механична мощност при математическия модел.

В трета глава практически се анализира поведението на микромрежите. Разработен е и е изпитан физически лабораторен модел в лаборатория УЕЕС и ППЕЕС на ТУ София. Това е хибриден, мобилен модел на микромрежа, позволяващ пресъздаване и конфигурацията на различни топологии на микро, мини и нано мрежи, работещи в паралел със системата или на островен режим. Главните компоненти съставляващи физическият модел на микромрежата са: Физически модел на фотоволтаичен генератор; Заряден регулатор; Батерии за съхранение на енергия; Хибриден преобразувател; Информационна система; Електрически товари и др.

В четвърта глава е реализиран и изпитан стенд за провеждането на изследвания със силов хардуер във веригата, даващ възможност да се оцени поведението на изследвания обект (DuT) да се изследва устойчивостта на система при реализиране на

предходни, възникнали в миналото аварийни режими в електроенергийната система. Използвана е коректна методология за проверка на точността. Резултатите са сравнени със записи на реални аварийни процеси от разпадането на обединената електроенергийна система на 4 ноември 2006 година. Не е посочена точността на преобразуването в цифров вид на графичните записи на аварията. Като цяло, реализираният тестови стенд представлява достатъчно коректно средство за изследване на процеси по метода на РНП симулациите. Извършените експерименти дават възможност за качествена оценка на изследваните процеси.

В пета и шеста глави е изследвано поведението на контролер за управление на мощностите в микро и нано мрежи. Испитан е нов, разработен за целта, цифров контролер за управление на товарите в микро и нано мрежи. Използван е подход със силов хардуер при отворена верига. Основните етапи са: измерване и калибриране на устройството (особено по отношение на измерването на честотата на комплексен периодичен сигнал); определяне на стратегия за изпитване на контролера чрез прилагане на схема за динамично ценообразуване. Предложен е нов метод за управление, базиран на динамично ценообразуване на електроенергията. Контролерът изпълнява алгоритмите за управление на мощността на микро ВЕЦ. В рамките на тази концепция, управлението на мощността се разглежда за много възлова система, с разпределени товари. Правилно са подбрани схемни решения за входния преобразувател, но липсва реално галванично разделяне на сигналите.

Оценявам усилията на инж. Асенов да търси комбинации от критерии и модели при решаване на формулираните задачи.

Като обобщение може да се каже, че в дисертационния труд е потърсено решение или са формулирани изисквания за следващи анализи на:

- a) Анализ на микромрежи, посредством математическо моделиране;
- b) Управление на параметрите на микро и наномрежи, посредством физическо моделиране;
- c) Анализ на стратегии за управление на микро и наномрежи, чрез използване на изследвания с контролер във веригата;
- d) Анализ на микро и нано мрежи, посредством прилагането методи за изследване със силов хардуер във веригата.
- e) Разработка, реализация на технически средства за интелигентно управление на режимните параметри в микро и нано мрежи, почиващи на нови, икономически ефективни софтуерни и хардуерни решения с отворен код и изпитване в лабораторна среда близка до действителността.

Разработени са физически контролери и програмно осигуряване за Интелигентно управление на режимните параметри чрез изменение на товара. Направени са изследвания и са формулирани съответните изводи. Избраната методика на изследване съответства в достатъчна степен на поставените цели. Получените резултати са систематизирани в приложение по начин, който осигурява добра база за сравнителен анализ.

Очевидна е научната и научно-приложната стойност на очакваните резултати от разработките в дисертационния труд, както и реалната възможност за прилагането им в

практиката. Основните резултати от проведените изследвания са проверени чрез сравнителни софтуерни аналитични и хардуерни експериментални мероприятия.

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

Приносите от разработката са значими.

1. Научно-приложни приноси

- Предложено е моделно изследване на методите и средствата за регулиране на напрежението и управление на режимните параметри в електрически микро и нано мрежи мрежи с възобновяеми ДЕИ.
- Предложен е подход и набор от реализации за изследване на методите за управление на режимните параметри в електрически микро и нано мрежи посредством техники със силов хардуер във веригата.
- Разработени и доразвити са подходи и са предложени набор от технически средства за интелигентно управление на режимите в микро и нано мрежи.

2. Приложни

- Разработен е нов цифров контролер за интелигентно управление на режимните параметри посредством изменение на товара.
- Реализирана е опитна постановка за изследване на устойчивостта на система със силов хардуер във веригата в реално време. Системата е внедрена в лаб. УЕЕС и е изпитана чрез анализ, репродуциращ разпадането на европейската електроенергийна система.
- В рамките на работата е разработен физически модел за изследване и изпитвания на микро, мини и наномрежи.
- • Разработена е лабораторна установка за изследвания на устойчивостта на ЕЕС посредством техники със силов хардуер във веригата.

Получените резултати са оригинални и напълно съответстват на изискванията за дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“. Мисля, че внедряването им е актуално и ще е полезно още на този етап.

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

Работата на докторанта се характеризира със задълбочено познаване на съвременното състояние на проблемите и значителни постигнати от него резултати. Както се вижда от авторския състав в публикациите, а и от приложенията с резултатите от изследванията, разработка с такъв характер и с такъв обем определено изисква екипна работа. Личните му приноси се потвърждават и от факта, че самостоятелната му публикация [2], представена на IEEE конференция и реферирана в Scopus, е високо оценена от научната общност и има независими цитирания.

Ясно личи че докторантът е усвоил и работи свободно със специфичен математически инструментариум, че се справя със сложни изследователски задачи, като ги решава самостоятелно или в екип.

Всичко това, както и личните ми наблюдения за работата на докторанта, ми дават основание да приема, че представената част от разработката като дисертационен труд и приносите в него са лично дело на кандидата.

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

Основните постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в пет публикации, от които четири са в съавторство и една е самостоятелна. Всички публикации са представени на международни конференции и са видими в IEEE и SCOPUS.

Към дисертацията е приложен списък с пет публикации за периода 2017-2022г. Една от тях е самостоятелна, останалите са в съавторство с научния ръководител или по-голям колектив. Публикациите са в Electrical Engineering Faculty Conference BuLEF - две; една - в Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area, (SyNERGY MED 2022), една в IX National conference with international participation ELECTRONICA 2018 18 – 19 May 2018 и една в Lighting 2017, 19 – 21 October, Varna, Bulgaria, National Lighting Conference for Young Scientists¹. Приложена е декларация на докторанта за оригиналност и авторство на приносите в дисертационната му работа.

Приложена е декларация на докторанта за оригиналност и авторство на приносите в дисертационната му работа.

Не са отбелязани цитирания от други автори.

Всички публикации са свързани с тематиката на дисертационния труд и са видими в SCOPUS. Изборът основно на технически форуми като място на изява гарантира допълнителна колегиална оценка от по-голям брой специалисти. Основните резултати на дисертационния труд са достойни на българската и международна научна общност.

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.

Извършените изследвания, свързани с проектиране, компютърно моделиране и оптимизация на режимите на микро и нано мрежи, имат своята практическа приложимост при намирането на нови решения и подобрения при тяхната разработка.

Разработените математически модели в Simulink на Matlab, разработването на нов контролер със съответните алгоритми и използване на програмен продукт „STATUS” правят възможно пресъздаването на условия и събития, както и изпитване на физически устройства и стратегии за управление на товари.

Мисля, че внедряването им е актуално и ще е полезно още на този етап.

Получените резултати биха били полезни при разработване на методи и стратегии за контрол и управление на режимите при микро и нано мрежи с възобновяеми ДЕИ. Представените стратегии и устройства допринасят към общото подобряване на управлението на ЕЕС и качеството на електрическа енергия в интелигентни мрежи.

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

Авторефератът е в обем от 32 страници и е изготвен съгласно изискванията. В него са показани главните достижения на дисертационния труд. Считаю, че той отразява правилно научните приноси на дисертационния труд.

10. Мнения, препоръки и бележки.

От редакционен характер:

- Зависимостта по напрежение, показана на фиг. 85 (стр. 150), е с хиперстатичен характер, а не статичен както е посочено.
- Анализирани схеми (фиг. 86 стр. 151) на входните преобразуватели на напрежение и захранване на микроконтролера практически са екипотенциални, а не с галванично разделяне както е посочено.

Препоръки:

- Би се постигнал различен резултат, ако се промени структурата на използваната SCADA, като се осигури комуникационна среда за бърз достъп до данните на устройствата в различните възли на анализирани микро- и нано- мрежи (глави 5 и 6).
- Добре е да се дефинира точността на използваните съвременни софтуери за преобразуването на записи от графичен в цифров вид. (Иначе се обезсмислят изискванията за точност и достоверност на симулационния модел).
- Използва се термина „силов хардуер“, без да се уточнява, че става въпрос за статични електронни преобразуватели (само на стр. 110 се дефинира като УМ). По принцип, всяко производство на електрическа енергия използва силов хардуер или по-точно преобразувател...
- Съществуват по-прецизни методи за измерване на честотата на комплексен периодичен сигнал приложими при разработка на нов контролер. Използваният в разработката метод зависи силно от хармоничния състав на сигнала и от разрядността на АЦП и времето му на преобразуване. Приемам обаче, че за поставените цели на изследванията, резултатите са с достатъчна точност.
- При математическите модели в Simulink рязък скок от едно установено положение, към второ (глава 2) може да се получи, ако не са отразени коректно времеконстантите на обектите, особено при използване на опростен модел на синхронна машина.
- Симулацията в LT Spice на схемното решение от фигури 97, 99 и 101 (стр. 168, 170, 173) не е коректна. Ако входното съпротивление на S/H на ADC е $10\text{k}\Omega$ то би променило сигнала от източника. Стандартно, входните канали на вградените в микроконтролери ADC и прилежащите им мултиплексори е $\geq 100\text{k}\Omega$.
- При проверката и оценката на динамиката на разработения физически стенд (глава 4), част от резултатите практически са определяне на времеконстантата на обекта. Повторението на опитите просто показва, че е необходимо съгласуване на периодичността на управляващите въздействия, с времеконстантата на обекта

(наречена тук време за реакция, вероятно от превода на 'response time' използвана в Matlab).

- Липсата на дефинирани перспективи и следващи цели за развитие на разработката приемам като запазване на конфиденциална информация.

Направените забележки и препоръки не омаловажават постигнатото в дисертационния труд. Достоинствата му са очевидни.

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

Личното ми становище е, че представения труд е *актуален* и *стойностен*. Притежава достатъчно научни, научно-приложни и инженерно-приложни приноси. Като обем, брой и сложност на анализирани проблеми, намерени решения и направени авторски разработки надхвърля изискванията.

Разработките в дисертацията са описани компетентно и в необходимата пълнота, изводите и заключенията са много добре построени и аргументирани. Дисертационният труд отговаря на изискванията на ЗРАСРБ, Правилника за прилагане на закона и съответния Правилник на Техническия университет - София.

Получените в дисертационния труд научно-приложни и приложни приноси, демонстрираните високо образователно ниво и натрупан теоретически и изследователски опит с постигнати и практически резултати в една актуална област, ми дават достатъчни основания убедено да препоръчам на Уважаемото жури да присъди на маг. инж. Цветомир Сашков Асенов образователната и научна степен „Доктор“ в областта на висше образование „Технически науки“, професионално направление 5.2 „Електротехника, електроника и автоматика“, научна специалност „Електрически мрежи и системи“.

Дата: 28.02.2025г.

Рецензент:

/проф. д-р инж. Ангел Цолов/

REVIEW

on a dissertation for the degree of Doctor of Education and Science
in the field of higher education "Technical Sciences",
professional field 5.2 "Electrical Engineering, Electronics and Automation",
scientific specialty "Electrical Networks and Systems"

Author of the thesis: M. Sc. Eng. Tsvetomir Sashkov Asenov

Theme of the dissertation: " CONTROL OF MICRO AND NANO GRIDS STATES "

Scientific supervisor. Assos. Prof. Eng. Rad Hristov Stanev

Reviewer. Prof. PhD Eng. Angel Belchev Tsolov, TU-Sofia, Department of Electrical Power Engineering

1. The scientific and applied relevance of the problem developed in the thesis. Degree and level of topicality of the problem and specific tasks developed in the thesis.

Considering the dynamics and the nature of the changes in the EEC of R. Bulgaria in recent years and the strategies outlined in the European SET Plan, the topic of the dissertation is highly relevant. Electricity generation from sources with relatively random generation modes, connected at various levels of the system hierarchy, is being integrated without prior planning and coordination. To a large extent, their generation is not subordinated to the Electricity System Operator. On the other hand, power quality requirements are increasing. Electric Systems and their components are now close to their reliability and dynamic stability limits. This requires research and development of new technical (and economic) solutions to the emerging problems. Based on this research, the aim and objectives of the thesis are formulated.

The dissertation consists of 185 pages, including an introduction, 6 chapters to address the main problems formulated, a summary of main contributions, a list of dissertation publications and references used. A total of 94 references are cited, 87 are in Latin and 2 in Cyrillic, the rest are internet addresses. The work includes a total of 124 figures and 9 tables. The figure and table numbers in the abstract correspond to those in the thesis.

To achieve the set objective, the author has formulated several prospective research tasks that address the challenges associated with the management of modern EES, addressing the following tasks:

- Analysis of microgrids by means of mathematical modelling;
- Control of micro- and nano-grid parameters, through physical modelling;
- Analysis of control strategies for micro- and nano-grids, by exploiting in-circuit controller studies;
- Analysis of micro- and nano-networks, by applying in-circuit power hardware research methods.
- Development, implementation and testing of technical tools for intelligent control of mode parameters in micro and nano networks in laboratory environments, as well as in near-reality laboratories, based on new, cost-effective open source software and hardware solutions.

These tasks confirm the relevance of the problem under study.

The author of the thesis has formulated aims and objectives that are adequate and in accordance with the requirements of a thesis for the acquisition of the educational and scientific degree of "Doctor".

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

The doctoral candidate has excellent knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the literature on it. After analysing the literature, the aim and objectives are clearly defined - to develop mathematical models, hardware and software tools to enable a more complete study of the effects of DEI on the steady state and transient modes of the Electrical Power System.

A significant part of the cited literature consists of recent publications presented at prestigious international forums.

3. Relevance of the chosen research methodology and the stated aim and objectives of the dissertation to the contributions made.

A careful reading of the dissertation convinces that the development is subordinated to the following main line - demonstration of the need for research, analysis of typical (traditional) means of finding solutions (advantages and disadvantages of specific processes), definition of requirements and synthesis of new, non-traditional means of research.

Excellent knowledge of the current state of the problems under study, in-depth knowledge of the methods of designing, analysing and optimising equipment will enable the doctoral candidate to develop original computer models of the equipment, to select and apply effective research methods and to validate the results obtained.

The research methodology chosen by the doctoral candidate is consistent with the stated aims and objectives of the thesis and has enabled them to be achieved and resolved at a high level.

4. Brief analytical characterisation of the nature and assessment of the reliability of the material on which the contributions of the thesis are based.

An in-depth literature review has been carried out on the current state of the art of DEI control systems, as well as the various means of real-time control and optimization of the modes. A comparative analysis of the modes under different network structures is performed. The studies carried out show that the evaluation of emerging technologies, control strategies and trends in the development of control systems is of paramount importance in determining parameter values for finding new solutions and improvements.

The research and analyses are mainly distributed in the following five tasks related to the operation of RES in distribution networks CSP, as well as in micro- and nano-grids: analysis of micro-grids, through mathematical modelling; control of parameters of micro- and nano-grids, through physical modelling; analysis of control strategies of the considered networks, through the use of research with controller in the circuit; analysis of these networks, through the application of research methods with power hardware in the circuit, and development, implementation of technical.

In Chapter 2, through an analytical approach with mathematical modelling of the microgrid, the performance of the microgrid model is investigated by implementing and testing two modes of operation: 'parallel system operation' and 'islanded operation'. In the first mode studied, the generator is run up to synchronous speed, then the excitation is adjusted until the system voltage level is reached, after which the circuit breaker - Q - is switched on. The second mode is the failure of parallel operation between the microgrid and the system, by switching off the circuit breaker - Q. A comparison of the mathematical and physical model is made after the test scenario has been implemented. A sufficient degree of similarity is achieved between the results obtained using the mathematical and physical models. It is correctly concluded that the differences are due to the assumption of constant mechanical power in the mathematical model.

In Chapter 3, the behaviour of the microgrids is analysed practically. A physical laboratory model has been developed and tested at the PSS laboratory of TU Sofia. It is a hybrid, mobile microgrid model, allowing the recreation and configuration of different topologies of micro, mini and nano grids operating in parallel with the system or in island mode. The main components constituting the physical model of the microgrid are: PV generator physical model; charge controller; energy storage batteries; hybrid converter; information system; electrical loads, etc.

In Chapter 4, a test rig is implemented and tested to conduct studies with power hardware in the circuit, enabling to evaluate the behaviour of the object under study (DuT) to investigate the system stability when realizing previous, occurred in the past, emergency modes in the power system. A correct methodology was used to verify the accuracy. The results are compared with recordings of real emergency processes since the collapse of the unified power system on November 4, 2006. The accuracy of the digitisation of the graphical records of the accident is not indicated. In general, the implemented test rig represents a sufficiently correct tool for the study of processes by the PHIL simulations method. The experiments performed allow a qualitative evaluation of the processes studied.

In chapters five and six, the behavior of a power management controller in micro and nano grids is investigated. A novel, purpose-designed, digital controller for load control in micro and nano networks is tested. An open circuit power hardware approach is used. The main stages are: measurement and calibration of the device (especially in terms of measuring the frequency of a complex periodic signal); definition of a test strategy for the controller by applying a dynamic pricing scheme. A new control method based on dynamic power pricing is proposed. The controller implements the power control algorithms of micro hydropower plant. Within this concept, power control is considered for a multi-node system, with distributed loads. Circuit solutions for the input converter are properly selected, but real galvanic separation of signals is missing.

I appreciate the efforts of Eng. Asenov to look for combinations of criteria and models to solve the formulated problems.

As a summary, it can be said that the dissertation has sought a solution or formulated requirements for further analysis of:

- a) Analysis of microgrids by means of mathematical modelling;
- b) Parameter control of micro and nano networks, through physical modelling;
- c) Analysis of control strategies for micro- and nano-grids, using in-circuit controller studies;
- d) Analysis of micro and nano networks, by applying research methods with in-circuit hardware.
- e) Development, implementation of technical tools for intelligent control of mode parameters in micro and nano networks, resting on new, cost-effective open source software and hardware solutions and testing in a realistic laboratory environment.

Physical controllers and software have been developed for Intelligent Mode Parameter Control by load modification. Investigations have been made and relevant conclusions have been formulated. The chosen research methodology sufficiently corresponds to the set objectives. The results obtained are systematized in an appendix in a way that provides a good basis for comparative analysis.

The scientific and applied value of the expected results of the dissertation work is obvious, as well as the real possibility of their application in practice. The main results of the conducted research are verified by comparative software analytical and hardware experimental arrangements.

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

The contributions of the development are significant.

1. Scientific and applied contributions

- A model study of the methods and means of voltage regulation and control of mode parameters in electrical micro and nano grids networks with renewable DER is proposed.

- An approach and a set of implementations are proposed to investigate the methods for controlling the mode parameters in electric micro and nano grids by means of techniques with power hardware in the circuit.

- Approaches and a set of technical tools for intelligent mode control in micro and nano grids are developed and further developed.

2. Applied

- A novel digital controller for intelligent mode-parameter control by load variation is developed.

- An experimental setup has been implemented to study the stability of a system with power hardware in the real-time circuit. The system has been implemented in lab. UEES and has been tested by an analysis reproducing the decay of the European

- A physical model has been developed within the work for micro, mini and nanogrids research and testing.

- A - laboratory setup has been developed to investigate the stability of the EEC using in-circuit power hardware techniques.

The results obtained are original and fully comply with the requirements for a PhD thesis. I think their implementation is relevant and will be useful already at this stage.

6. Assessment of the degree of personal involvement of the doctoral candidate in the contributions

The PhD student's work is characterized by a thorough knowledge of the state of the art and significant results achieved. As can be seen from the authorship in the publications, and from the appendices with the results of the research, a work of this nature and of this size definitely requires teamwork. His personal contributions are confirmed by the fact that his solo publication [2], presented at an IEEE conference and refereed in Scopus, is highly appreciated by the scientific community and has independent citations.

It is clearly evident that the PhD student has mastered and works fluently with specific mathematical tools, and that he handles complex research problems by solving them independently or in a team.

All this, together with my personal observations of the PhD student's work, leads me to believe that the part of the work presented as a dissertation and the contributions in it are the personal work of the candidate.

7. Assessment of the publications related to the thesis: number, type of publications in which they appear. Reflection in the scientific community - use and citation by other authors, in other laboratories, countries, etc.

The main achievements and results of the thesis have been published in five publications, four of which are co-authored and one is independent. All publications have been presented at international conferences and are available in IEEE and SCOPUS.

A list of five publications for the period 2017-2022 is attached to this dissertation. One of them is solo, the others are co-authored with the supervisor or a larger team. The publications are in Electrical Engineering Faculty Conference Bulef - two; one in Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area, (SyNERGY MED 2022), one in IX National conference with international participation ELECTRONICA 2018 18 - 19 May 2018 and one in Lighting 2017, 19 - 21 October, Varna, Bulgaria, National Lighting Conference for Young Scientists¹. A declaration of originality and authorship of the contributions in the PhD thesis is attached.

A declaration of originality and authorship of the contributions in the PhD thesis is attached.

Citations of other authors are not included. All publications are related to the dissertation topic and are visible in SCOPUS. The choice of mainly technical forums as a venue ensures additional peer review by a larger number of specialists. The main results of the dissertation are available to the Bulgarian and international scientific community.

8. Use of the dissertation results in scientific and social practice. Existence of direct economic impact, etc. Documents on which the claim is based.

The research carried out on the design, computer modeling and optimization of micro and nano grids has its practical application in finding new solutions and improvements in their development.

The mathematical models developed in Simulink of Matlab, the development of a new controller with the corresponding algorithms and the use of the software product "STATUS" make it possible to recreate conditions and events as well as test physical devices and strategies for controlling loads.

I think their implementation is relevant and will be useful already at this stage.

The results would be useful in developing methods and strategies for control and management of modes in micro and nano grids with renewable DEI. The presented strategies and devices contribute to the overall improvement of EPS control and power quality in smart grids.

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

The abstract consists of 32 pages and has been prepared according to the requirements. It shows the main achievements of the thesis. In my opinion, it correctly reflects the scientific contributions of the thesis.

10. Opinions, recommendations and comments.

Of an editorial nature:

- The voltage dependence shown in Figure 85 (page 150) is hyperstatic in nature, not static as stated.
- The analysed circuits (Fig. 86 p. 151) of the input voltage and power converters of the microcontroller are practically equipotential, not with galvanic separation as indicated.

Recommendations:

- A different result would be achieved if the structure of the SCADA used is changed, providing a communication environment for fast access to device data at the different nodes of the micro- and nano-networks analysed (Chapters 5 and 6).
- It is a good idea to define the accuracy of modern software used to convert records from graphical to digital form. (Otherwise the requirements for accuracy and reliability of the simulation model are negated).

- The term "power hardware" is used without specifying that it is static electronic transducers (only on page 110 is it defined as PM). Basically, any power generation uses power hardware or more precisely converter...
- There are more accurate methods of measuring the frequency of a complex periodic signal that can be used in the design of new controllers. The method used in the design depends heavily on the harmonic composition of the signal and the ADC discharge and conversion time. However, I expect the results to be sufficiently accurate for the research objectives.
- In mathematical models in Simulink, an abrupt jump from one steady state, to another (Chapter 2) can occur if the time constants of the objects are not correctly reflected, especially when using a simplified model of a synchronous machine.
- In the verification and evaluation of the dynamics of the developed physical rig (Chapter 4), part of the results are practically the determination of the object time constant. The repetition of the experiments simply shows that it is necessary to match the periodicity of the control actions, with the time constant of the object (called here response time, probably from the translation of 'response time' used in Matlab).
- The LT Spice simulation of the circuit solution in Figures 97, 99, and 101 (pages 168, 170, 173) is incorrect. If the input resistance of the S/H in ADC is $10\text{k}\Omega$ it would change the signal from the source. By default, the input channels of embedded microcontroller ADCs and their adjacent multiplexers with S/H module is $\geq 100\text{k}\Omega$.
- I take the lack of defined perspectives and next development goals as a reservation of confidential information.

The comments and recommendations made. Its merits are clear.

11. Conclusion with a clear positive or negative evaluation of the thesis

In my personal opinion, the dissertation is relevant and valuable. It has sufficient scientific, scholarly and engineering contributions. The scope, number and complexity of the problems analysed, the solutions found and the author's elaborations exceed the requirements.

The developments in the dissertation are described competently and with the necessary completeness, the conclusions and implications are very well constructed and argued. The dissertation fulfils the requirements of the Law on the Application and the relevant regulations of the Technical University of Sofia.

The scientific and applied contributions obtained in the dissertation, the demonstrated high educational level and the accumulated theoretical and research experience with achieved and practical results in a topical field, give me sufficient grounds to confidently recommend to the Honourable Jury to award the degree of Master of Science, Eng. Tsvetomir Sashkov Asenov the educational and scientific degree of 'Doctor' in the field of higher education "Technical Sciences", professional field 5.2 "Electrical Engineering, Electronics and Automation", scientific specialisation "Electrical Networks and Systems".

Date: 28.02.2025

.....

Reviewer:

/ Prof. PhD Eng. Angel Tsolov/