

## 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. Костадин Богословов Виглов

*Тема на дисертационния труд:* „УПРАВЛЕНИЕ НА СЪВРЕМЕННИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ“

*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.**

Според 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. В дисертационния труд обект на изследване ефекта различни методи за управление на работата на ВЕИ върху установените и преходните режими на ЕЕС като за целта са създадени съответните математически модели.

Дисертационният труд е в обем от 158 страници, като включва увод, 4 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 126 литературни източници като 101 са на латиница и 23 на кирилица, а останалите са интернет адреси.

Оценката на нововъзникващите технологии, стратегии за контрол и бъдещите тенденции в децентрализираните системи за производство на електрическа енергия (ДЕИ) са от съществено значение за определяне на оптимални стойности на параметрите при намирането на нови решения и подобрения. Въз основа на това изследване са формулирани целта и задачите на дисертационния труд.

Целта на настоящия дисертационен труд е да изследва управлението на съвременни ЕЕС в контекста на методите за регулиране на напрежението в мрежи с ДЕИ, анализа посредством техники със силов хардуер във веригата, както и решенията за интелигентно управление на товари.

За постигане на поставената цел авторът е формулирал няколко перспективни задачи за изследване, които засягат предизвикателствата, свързани с управлението на съвременни ЕЕС, а именно:

- Анализ на управлението и устойчивостта на ЕЕС чрез експерименти със силов хардуер във веригата;
- Регулиране на напреженията;
- Интелигентно управление на товара;
- Постояннотокови и хибридни (AC/DC) мрежи НН;
- Поведение на инверторно свързани генератори с акумулатори при КС.

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 ясно са дефинирани целта и задачите – разработване на математически модели, хардуерни и програмни средства, даващи по-пълна възможност за изследване влиянието на ДЕИ 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: Регулиране на напреженията в разпределителни мрежи с разпределено производство; Интелигентно управление на режимните параметри чрез изменение на гъвкави товари; Постояннотокови и хибридни (променливотокови и постояннотокови) мрежи НН; Инверторно свързани генератори с акумулатори- устойчивост при преходни процеси след големи смущения; Изследвания със силов хардуер във веригата в контекста на устойчивостта на бавните преходни процеси обусловени от големи системни аварии.

Във втора глава посредством аналитичен подход с математично моделиране за изследване на регулиране на напреженията в разпределителни мрежи с разпределено производство е реализирано моделно изследване на режимите в електроразпределителните мрежи с ДЕИ, както и методите, средствата и похватите за регулиране на напрежението. За валидиране на ползваните модели е направено сравнително изследване с помощта на програмите STATUS, NEPLAN и DMS. Получените резултати са валидирани в рамките на възможното посредством други математически модели или – било при анализ с програмата STATUS, било след обработка на резултатите от реални физически процеси, получени от специализирани стендове.

В трета глава практически се анализира ефекта от работата на силов хардуер във веригата за изследване и управление на режимните параметри в ЕЕС. Предложено е и е реализирано интелигентно управление на режимните параметри чрез изменение на товара, което е изпитано, както в лабораторна среда, така и в обект от живата лаборатория на лаб. УЕЕС на ТУ - София. Решението предлага нов цифров контролер за регулиране на напрежението чрез гасителен товар за автономен, водещ по напрежение и честота хидрогенератор. Устройството е предназначено да замени съществуващ аналогов контролер, като подобри и разшири наличните възможности. Анализирани е и ефекта от Управление на мощностите посредством пазарна схема за динамично ценообразуване при постояннотокови мрежи НН.

В четвърта глава е анализирана работата на разработените физически модели за изследване на поведението на фотоволтаичен генератор (ФВГ) в условията на късо съединение, като е обърнато специално внимание на момента на възникване на късото съединение. Извършените експерименти дават възможност за оценка на поведението на инвертора при възникване на КС и позволява изследване влиянието на момента на възникване на КС върху УЕЕС.

Оценявам усилията на инж. Виглов 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:

а) изследване (и синтезиране) на профили на товара за различни по вид и характеристики мрежи на населени места с разпределени производители;

б) технико-икономическо изследване за приложимостта на регулиране на напрежението чрез изменение на реактивната мощност;

в) технико-икономическо изследване за приложимостта на регулиране на напрежението чрез ограничение на активната мощност;

г) технико-икономическо изследване за приложимостта на регулиране на напрежението чрез МТАРН;

д) ревизия на стратегията за определяне на настройките и регулиране на напрежението посредством стъпалните регулатори в подстанциите, захранващи разпределителните мрежи;

е) изследване на характерните коефициенти на едновременност за производителите, присъединени към електрическите мрежи;

ж) ревизия на техническите изисквания към електромерите, монтирани на трансформаторните постове и на производителите.

Разработени са физически контролери и програмно осигуряване за Интелигентно управление на режимните параметри чрез изменение на товара, Постояннотокови мрежи НН и инверторно свързани генератори с акумулатори. Направени са изследвания и са формулирани съответните изводи. Избраната методика на изследване съответства напълно 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*

1.1. Предложено е моделно изследване на методите и средствата за регулиране на напрежението и режимите в електроразпределителните мрежи с възобновяеми ДЕИ, посредством набор от показатели за оценка на състоянието.

1.2. Анализирани са различни възможни схеми за развитие на електроразпределителни мрежи в контекста на увеличеният дял разпределено производство от ВЕИ като са оценени предимствата и недостатъците при всяка от тях.

1.3. Разработена е нова архитектура, софтуерна и хардуерна реализация на опитна постановка за изпитване и изследване на устройства и системи в контекста на устойчивостта и управлението на електрически мрежи и системи посредством техники със силов хардуер във веригата.

### *2. Приложни*

2.1. Разработени са нови модули на програмата STATUS, които позволяват осъществяване на целта и задачите на изследването по отношение на методите и

средствата за регулиране на напрежението и режимите в електроразпределителните мрежи с възобновяеми ДЕИ.

2.2. Разработен е нов цифров контролер за интелигентно управление на режимните параметри посредством изменение на товара.

2.3. Разработена е физическа опитна постановка за изпитване и анализ на микро и нано-мрежи с инверторно свързан генератор със ССЕ, за експериментално изследване на и устойчивостта и преходните процеси след възникване на късо съединение.

2.4. Реализирана е опитна постановка за изследване на устойчивостта на система със силов хардуер във веригата в реално време. Експериментално изследвани са преходни процеси и устойчивостта им след възникване на късо съединение.

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 [1], 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.

доклад на международната конференция 15th Electrical Engineering Faculty Conference, BulEF 2023, - самостоятелна

доклад на международната конференция 14th Electrical Engineering Faculty Conference, BulEF 2022 – две статии

доклад на международната конференция 2nd International, Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area 2022, EEE Catalog Number: CFP22T26-POD, ISBN (Print): 978-1-6654-6108-5, ISBN (Online): 978-1-6654-6107-8,

доклад на международната конференция 12th Electrical Engineering Faculty Conference, BulEF 2020

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 параметрите на ДЕИ, имат своята практическа приложимост при намирането на нови решения и подобрения при тяхната разработка.

Разработените математически модели, използване на програмен продукт „STATUS” и създаване на нови функционални програмни модули. Мисля, че внедряването им е актуално и ще е полезно още на този етап.

В рамките на договор Д№ 222ПД0019-01/ 24.03.2022г. Изследователски проект в помощ на докторант на тема „Лабораторен стенд за изследване на микро и нано мрежи с инверторно свързани генератори с акумулатор“ на Научноизследователски сектор към лаборатория Устойчивост на Електроенергийните системи към катедра Електроенергетика е оборудвана с необходимите софтуерни и хардуерни средства за провеждане на научно-изследователска, научно-приложна и учебна дейност в областта на анализа на устойчивостта на ЕЕС с микро и нано-мрежи с инверторно свързан генератор със ССЕ.

Получените резултати биха били полезни при разработване на методи и стратегии за регулиране на напрежението в мрежи с 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.**

Препоръки:

- Фактическо валидиране на програмен продукт става след сравняване на резултатите с тези от записи в реална физическа система (дори и модел на такава (RTS)) при определен брой симулации;
- Резултатите биха били по-точни, ако се промени структурата на използваната SCADA, като се осигури комуникационна среда за бърз достъп до данните на устройствата в различните възли на анализираниите микро- и нано- мрежи.

- Използването на директна цифрова обработка за получаване RMS на сигнала за напрежението би елиминирало неточностите, характерни за използвания входен преобразувател за напрежение (ограничен честотен спектър, времеконстанта около 10ms и др.).
- Критичен момент при всяко моделиране е изборът на „достоверни“ начални условия. Липсата на реално „единно време“ в ЕЕС обаче внася още по-голяма степен на неопределеност. Този проблем не е дискутиран в разработката.
- 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. Костадин Богословов Виглов 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: 18.08.2024г.

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 Automatics",  
scientific specialty "Electrical Networks and Systems"

Author of the thesis: M. Sc. Eng. Prof. Kostadin Bogoslovov Viglov

Theme of the dissertation: "CONTROL OF ADVANCED POWER SYSTEMS"

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.**

According to the dynamics and nature of the changes in the EU of the Republic of Bulgaria in recent years and the strategies laid down in the European SET Plan, the topic of the dissertation is relevant.. Electricity sources with a relatively random mode of generation, connected at different levels of the system hierarchy, are put into operation without forward 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. Electricity systems and their components now operate in regimes close to the limits of reliability and dynamic stability. This requires research and development of new technical (and economic) solutions to the emerging problems. In this dissertation, the effect of different methods of controlling the operation of RES on the steady-state and transient modes of RES is investigated and the corresponding mathematical models are developed for this purpose.

The dissertation is 158 pages long and includes an introduction, 4 chapters dealing with the main tasks formulated, a list of main contributions, a list of dissertation publications and references used. A total of 126 references are cited, 101 in Latin and 23 in Cyrillic, the rest being internet addresses.

The assessment of emerging technologies, control strategies and future trends in decentralised power generation (DPG) systems is essential to determine optimal parameter values when finding new solutions and improvements. Based on this research, the aim and objectives of the thesis are formulated.

The objective of this dissertation is to study the control of modern Power System in the context of voltage regulation methods in **DER** networks, analysis using power hardware techniques in the circuit and intelligent load management solutions. In order to achieve the stated objective, the author has formulated several prospective research tasks that address the challenges associated with the control of modern Electrical Power System, namely:

- Control and stability analysis of Electrical Power System through in-circuit power hardware experiments;
- Voltage regulation;
- Intelligent load management;



- DC and hybrid (AC/DC) low voltage networks;
- Behaviour of inverter-coupled generators with batteries under short circuit.

All this determines 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 publications from the literature used in the thesis are from recent years and have been 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 allow 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 allowed 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 DER control systems, as well as the different means of real-time control and optimisation modes. A comparative analysis of the modes under different network structures has been carried out. The studies carried out show that the evaluation of emerging technologies, control strategies and trends in control system development are of paramount importance in determining parameter values for finding new solutions and improvements.

The research and analyses are mainly divided into the following five tasks related to the operation of RES in CSP distribution networks and in micro- and nano-grids: Voltage regulation in distribution networks with distributed generation; Intelligent control of mode parameters by modifying flexible loads; DC and hybrid (AC and DC) LV networks; Inverter coupled generators with batteries - transient stability after large disturbances; Studies with power hardware in the circuit in the context of stability of slow transients conditioned by large system disturbances.

In Chapter 2, through an analytical approach with mathematical modelling to study voltage regulation in distributed generation networks, a model study of the modes in distribution

networks with DER, as well as the methods, means and techniques for voltage regulation, is implemented. In order to validate the models used, a comparative study was carried out using the STATUS, NEPLAN and DMS programmes. The results obtained have been validated, as far as possible, by means of other mathematical models, either in an analysis with the STATUS programme or after processing the results of real physical processes obtained from specialised equipment.

In the third chapter, the practical effect of the operation of the power hardware in the circuit for the study and control of the mode parameters in the ESS is analysed. An intelligent control of the mode parameters by load variation is proposed and implemented, which is tested both in a laboratory environment and in a live lab object of Lab. UEES of TU - Sofia. The solution proposes a new digital controller for voltage regulation via a damping load for an autonomous, voltage and frequency leading hydro generator. The device is designed to replace an existing analogue controller, improving and extending the available capabilities. The impact of power management using a market-based dynamic pricing scheme on DC-LV networks is also analysed.

Chapter 4 analyses the performance of the physical models developed to study the behaviour of a photovoltaic generator (PVG) under short-circuit conditions, with particular attention to the time of occurrence of the short-circuit. The experiments performed make it possible to evaluate the behaviour of the inverter during the occurrence of a short-circuit and to study the influence of the time of occurrence of the short-circuit on the UEES.

I appreciate the efforts of Eng. Viglov's efforts to find combinations of criteria and models for solving the formulated problems.

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

- (a) study (and synthesis) of load profiles for different types and characteristics of networks of settlements with distributed producers;
- (b) a techno-economic study on the feasibility of voltage regulation through reactive power variation;
- (c) a techno-economic study on the feasibility of voltage regulation by active power limitation;
- (d) a techno-economic study on the feasibility of voltage regulation by TAP Charger;
- (e) a review of the strategy for setting and regulating voltage using step regulators in substations feeding distribution networks;
- (f) Study of the characteristic simultaneity factors for generators connected to the electricity networks;
- (g) revision of the technical requirements for meters installed at substations and generators.

Physical controllers and software have been developed for intelligent control of mode parameters by load variation, DC-LV networks and inverter-coupled generators with batteries. Investigations have been carried out and conclusions have been drawn. The chosen research methodology is fully consistent with the objectives. The results obtained are systematised in an annex in such a way as to provide an additional basis for comparative analysis.

The scientific and scientific-applied value of the expected results of the developments in the dissertation 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. Applied scientific contributions**

1.1. A model study of the methods and means of voltage and mode regulation in distribution networks with renewable DERs is proposed, using a set of condition assessment indicators.

1.2. Different possible schemes for the development of electricity distribution networks in the context of an increased share of distributed generation from RES are analysed by assessing the advantages and disadvantages of each scheme.

1.3. A novel architecture, software and hardware implementation of an experimental setup for testing and investigating devices and systems related to resilience and control of electrical networks and systems will be developed using power hardware-in-the-loop techniques.

### **2. Applied contributions**

2.1. New modules of the STATUS programme have been developed to enable the realisation of the aim and objectives of the study in terms of methods and means of voltage and mode regulation in electricity distribution networks with renewable DER.

2.2. A new digital controller has been developed for intelligent control of the mode parameters by load variation.

2.3. A physical experimental setup has been developed for testing and analysing micro- and nano-grids with inverter coupled generator with SCE, for experimental study and stability and transients after short circuit occurrence.

2.4. An experimental setup is implemented to study the stability of a system with power hardware in a real-time circuit. Transients and their stability after the occurrence of a short circuit are experimentally investigated.

The results obtained are original and fully comply with the requirements of a dissertation for the degree of Doctor of Education and Science. I believe that their implementation is relevant and will be useful even at this stage.

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

The doctoral candidate's work is characterised by a thorough knowledge of the state of the art and significant results. As can be seen from the authorship of the publications and the appendices containing the research results, a work of this nature and size clearly requires teamwork. His personal contribution is confirmed by the fact that his solo publication [1], presented at an IEEE conference and refereed in Scopus, is highly appreciated by the scientific community and has independent citations.

It is clear that the PhD student has mastered specific mathematical tools and works fluently with them, that he is able to cope with complex research tasks and solve them independently or in a team.

All this, together with my personal observations of the doctoral candidate's work, leads me to believe that the part of the work presented as a thesis and the contributions contained therein 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, of which four are co-authored and one is independent. All publications have been presented at international conferences and are available in IEEE and SCOPUS.

- Paper presented at the 15th International Electrical Engineering Faculty Conference, Bulef 2023, - Solo
- Paper presented at the 14th International Faculty Conference of Electrical Engineering, Bulef 2022 - two papers
- Paper presented at the 2nd International Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area 2022, EEE Catalogue No: CFP22T26-POD, ISBN (Print): 978-1-6654-6108-5, ISBN (online): 978-1-6654-6107-8,
- Paper presented at the 12th International Conference of the Faculty of Electrical Engineering, Bulef 2020

Attached is the doctoral student's declaration of originality and authorship of the contributions to the dissertation.

There are no citations of other authors.

All publications are related to the dissertation topic and are visible in SCOPUS. The choice of mainly technical forums as venues 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 in relation to the design, computer modelling and optimisation of DER parameters has its practical applicability in the search for new solutions and improvements in their development.

The mathematical models developed the use of the "STATUS" software product and the creation of new functional programme modules. I think that their implementation is relevant and will be useful already at this stage.

Under contract D № 222PD0019-01/ 24.03.2022. Research project to support a PhD student entitled "Laboratory bench for the study of micro- and nano-grids with inverter-coupled generators with battery" of the Research Sector of the Laboratory of Sustainability of Electrical Power Systems of the Department of Electrical Power Engineering is equipped with the necessary software and hardware tools for carrying out research, scientific and applied activities in the field of analysis of the sustainability of micro- and nano-grids with inverter-coupled generators with SCE.

The results obtained will be useful for the development of methods and strategies for voltage regulation in DEE networks. 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.**

Recommendations:

- The real validation of a software product is done after comparing the results with those of recordings in a real physical system (even a model of one (RTS)) in a certain number of simulations;
- The results would be more accurate if the structure of the SCADA used were modified to provide a communication environment for rapid access to device data in the different nodes of the micro- and nano-networks analysed.
- The use of direct digital processing to obtain the RMS voltage signal would eliminate the inaccuracies inherent in the voltage input converter used (limited frequency spectrum, time constant around 10ms, etc.).
- A critical point in any modelling is the choice of 'credible' initial conditions. However, the lack of real 'uniform time' in the EPS introduces an even greater degree of uncertainty. This problem is not discussed in the development.
- I take the lack of defined perspectives and next development goals of the development as a reservation of confidential information.
- The comments and recommendations made do not detract from the achievements of the thesis. Its merits are obvious.

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

In my personal opinion, the work presented 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 meets the requirements of the Law on the Application of Law 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. Kostadin Bogoslovov Viglov 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: 18.08.2024

.....

Reviewer:

/ Prof. PhD Eng. Angel Tsolov/