

# РЕЗЮМЕТА НА НАУЧНИТЕ ТРУДОВЕ И СПРАВКА ЗА ПРИНОСИТЕ

гл. ас. д-р инж. Теодора Пламенова Тодорова

за участие в конкурс за заемане на академична длъжност „доцент“, в професионално направление „5.2. Електротехника, електроника и автоматика“, специалност „Електронни преобразуватели“ към катедра „Силова електроника“, Факултет Електронна техника и технологии, ТУ-София, публикуван в ДВ бр. 101 / 27.11.2025г.

## 1. Обща характеристика на научните трудове

За участие в конкурса са представени 18 научни труда (извън тези, свързани с придобиването на ОНС „доктор“), които включват:

- 10 научни публикации на английски език по показател В4 (Хабилитационен труд – научни публикации (не по-малко от 10) в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация).
- 8 научни публикации на английски език по показател Г7 (научна публикация в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация).

Публикациите, равностойни на монография, са обединени под общото наименование „Усъвършенстване на електронните преобразуватели с приложение в съвременните електроенергийни системи“. Това е основното направление на развитие на изследванията на кандидата и тематично обхваща цялостната ѝ научна продукция през последните години. По-конкретно тези публикации попадат в две тематични поднаправления:

- I. Специфични свойства на магнитопроводи за високочестотни магнитни компоненти за силови електронни преобразуватели – трудове [В4.1, В4.2].
- II. Топологична и хардуерна оптимизация на електронни преобразуватели за внедряване в съвременни енергийни системи – трудове [В4.3 – В4.10].

От представените по показател Г7 трудове, в първото от горните поднаправления попадат също трудовете [Г7.1 – Г7.4]. Изследванията и резултатите, докладвани в трудовете [Г7.5 – Г7.8], са в поднаправления както следва: [Г7.5] – характеризиране на динамични параметри на силови прибори; [Г7.6] – индуктори в резонансни инвертори за индукционно нагряване; [Г7.7] – методи за изравняване на напрежения в системи за съхранение на енергия; [Г7.8] – укрепване на научните и иновационните дейности по отношение на силовите електронни преобразуватели в областта на съвременните електроенергийни системи (на регионално, национално и европейско ниво).

## 2. Резюмета на научните трудове

### 2.1. Резюмета на трудовете равностойни на монография (показател В4)

[B4.1] T. P. Todorova and A. Van Den Bossche, "Set-up and measurements on a Mn-Zn ferrite ring core under sinusoidal excitation and dc bias conditions," *2021 23rd European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'21 ECCE Europe)*, Ghent, Belgium, 2021, pp. 1-10, doi: 10.23919/EPE21ECCEurope50061.2021.9570549.

Статията представя хардуерна реализация на експериментална постановка за измерване на загуби във високочестотни магнитопроводи при чисто синусоидално променливо токово възбуждане, както и при синусоидално възбуждане с внесена постоянно токова компонента. Постановката използва проектиран и физически реализиран за целта усилвател на мощност и е приложена за изследване на загубите в тороидална Mn-Zn феритна сърцевина без въздушна междина. Измерванията са проведени при стайна температура и честота 100 kHz, като са определени загубите в магнитопровода при различни амплитуди на променливотоковото възбуждане и при същите условия с различни нива на постоянно токово отместване. Представени са получените В-Н цикли, специфичните загуби на мощност и ефективната магнитна амплитудна проницаемост. Резултатите показват, че при наличие на постоянно токово отместване ефективната амплитудна проницаемост става асиметрична. Обсъждат се и практически съображения, свързани с използването на усилвателя на мощност.

**[B4.2] T. P. Todorova, "4-Switch GaN Converter Based Set-Up for High Frequency Magnetics' Characterization," 2025 International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP) & 2025 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), Timisoara, Romania, 2025, pp. 1-7, doi: 10.1109/OPTIM-ACEMP62776.2025.11075251.**

В статията се представя хардуерна реализация на експериментална постановка за характеризирание на високочестотни магнитопроводи при възбуждане с правоъгълни напрежения, основана на проектиран и физически реализиран за целта 4-ключов силов електронен преобразувател с GaN транзистори. Избраната топология на силовата схема осигурява гъвкавост на измерванията, позволявайки възбуждане на магнитопровода с правоъгълни напрежения с различни форми както при чисто променливо токов режим, така и при добавена постоянно токова компонента. Системата предоставя контрол върху коефициента на запълване и мъртвото време, което осигурява възможността за изпитване с различни форми на правоъгълно възбуждане, характерни за силовата електроника. Предложената силова схема позволява измерване на загуби в магнитопроводи при честоти до MHz-овия диапазон. Работата на системата е демонстрирана експериментално с Mn-Zn феритна тороидална сърцевина при три вида правоъгълно променливо токово възбуждане. Предоставени и анализирани са резултати от измерванията.

**[B4.3] T. P. Todorova, D. D. Arnaudov and K. Y. Kishkin, "Evaluation of Alternative Flyback-Based Converter Configurations for Li-Ion Battery Charging," 2021 44th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), Bautzen, Germany, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISSE51996.2021.9467511.**

В статията се разглежда схемна разновидност на обратен преобразувател от постоянно в постоянно напрежение с галванично разделяне (топология „flyback“) за заряд на литиево-йонен батериен пакет от фотоволтаичен генератор. В схемата се използват два отделни двунамотъчни дросела, като първичните им намотки са свързани последователно към входния източник чрез силовия транзистор, а към вторичните намотки има свързани собствени изправителни диоди и изходни кондензатори, които се обединяват паралелно за запазване на батериен пакет. В сравнение с конвенционалната flyback схема, при еднакви индуктивности, предложената схема позволява работа в режим на прекъснат ток за по-дълго време на отпушен транзистор. Това разширява работната област в този режим към по-ниски входни напрежения, което подобрява използваемостта на фотоволтаичния генератор при повишаване на работната му температура или при настъпване на частична засенченост на работната му повърхност.

Работата на предложената разновидност е сравнена с тази на конвенционалния преобразувател чрез разработени симулационни модели на двете схеми и чрез експерименти с физически реализирани прототипи, като по този начин е валидирана нейната работоспособност. При експериментите, за товар е използван батериен пакет от литиево-йонни клетки.

[B4.4] D. D. Stefanov, T. P. Todorova and V. C. Valchev, "A Flyback Converter Based System for an Active Charge Balancing of Li-Ion Battery Packs," 2018 IEEE XXVII International Scientific Conference Electronics - ET, Sozopol, Bulgaria, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ET.2018.8549663.

В статията се предлага топология на система за активно балансиране на заряда на клетки от батериен пакет. Предложената система се изгражда чрез свързване на индивидуални „flyback“ преобразуватели към всяка клетка от батерииния пакет. Топологията flyback е избрана за постигане на минимална крайна цена и висока технологичност на изделието. За целта е заложено да се работи с планарен индуктор с една навивка на първичната намотка. За валидиране на предложената система е реализиран физически прототип на единичен балансиращ клон на системата. Извършено е изследване на ефективността на прототипа при използване на различни работни параметри на управляващия сигнал на преобразувателя при зареждане на батериини пакети, формирани от два типа клетки – стандартни Li-Ion и LiFePo4 клетки. Влиянието върху производителността на веригата в най-добрия и най-лошия случай е допълнително проучено чрез разглеждане на времедиаграми на токове и напрежения, получени от проведените експерименти.

[B4.5] D. Arnaudov, T. Todorova and V. Dimitrov, "Study of Converters for Energy Storage Systems in Parallel Operation of Modules or Elements," 2023 18th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), Varna, Bulgaria, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/ELMA58392.2023.10202536.

В статията се обсъждат различни схеми на свързване на силови електронни преобразуватели или на елементи в едно преобразователно устройство за получаване на определена изходна мощност, чрез използване на устройства или елементи с по-малка мощност. Преобразувателите са предназначени за прехвърляне на енергия от високоволтова към нисковолтова подсистема в системи за съхранение на енергия. В статията е извършен анализ на две конфигурации на свързване на модули – последователно и паралелно свързване на няколко преобразователни устройства по отношение на входа, като и в двата случая съответните изходни вериги са свързани в паралел към общ товар (конфигурации SIPO и PIPO, съответно). За целите на анализа е възприет за употреба LLC резонансен постояннотоков преобразувател, който намира широка използваемост в приложенията на съвременните системи за съхранение на енергия. Изградени са симулационни модели с LLC преобразуватели и е извършен анализ посредством проведени с тях симулационни изследвания. На база резултати от изследванията са дефинирани входни данни, които са използвани за проектиране на трансформаторите, необходими за реализиране на LLC модулите в зависимост от конфигурацията, в която ще бъде свързан единният преобразувател (SIPO или PIPO). Представени и анализирани са данните за проектираните трансформатори. Представени са анализи и по отношение на силовите прибори във входната верига, както и на резонансните кондензатори.

[B4.6] D. Arnaudov, T. Todorova and V. Dimitrov, "Study of LLC Resonant Converter with Multi-Transformer Topology," 2024 23rd International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Bourgas, Bulgaria, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/SIELA61056.2024.10637888.

В статията се представя анализ на работата на LLC резонансен постояннотоков преобразувател за осигуряване на галванично развързано прехвърляне на постояннотокова енергия от високоволтова към нисковолтова система в електромобил. Анализът разглежда два варианта за реализация на преобразувателя, съответно с използване на един мощен трансформатор и с два по-маломощни трансформатора с последователно свързани първични намотки и изходни вериги, свързани в паралел към общ товар (SIPO конфигурация). За целите на изследването е проектиран LLC преобразувател за прехвърляне на енергия при работа с високо входно напрежение. След това са представени реализирани експериментални прототипи на мащабиранни по напрежение и мощност версии на преобразувателя в двете конфигурации при запазване на стойностите на оразмерените пасивни компоненти в резонансните вериги и съответните резонансни честоти. За изработването на прототипите са проектирани и физически реализирани магнитните компоненти – три трансформатора и един променливотоков индуктор. С прототипите са проведени експериментални изследвания с минимално и максимално входно напрежение, при поддържане на постоянни изходно напрежение и товарна мощност. Представен е съответен сравнителен анализ на получените резултати. Извършена е оценка на работоспособността на двете решения и на резултатните необходими работни честоти в сравнение с теоретично-формулираните очаквания.

[B4.7] **T. P. Todorova, D. D. Arnaudo, K. Y. Kishkin and N. L. Hinov, "Study of the operating modes of a DC-DC converter with different designs of the high frequency transformer," 2019 IEEE XXVIII International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, Bulgaria, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ET.2019.8878602.**

Статията представя изследване на работата на галванично изолиран едноключов резонансен преобразувател на постоянно в постоянно напрежение. Преобразувателят е предназначен за зареждане на нисковолтови елементи за съхранение на енергия, като например суперкондензатори. Изследването на преобразувателя е извършено по отношение на различни конструкции на високочестотния трансформатор. Разгледани се две конструкции – едната със секционирани намотките в двата противоположни края на макарата, а другата с разделяне на вторичната намотка на два паралелни слоя, разположени по цялата ширина на макарата, като първичната намотка също е разположена по цялата ширина на макарата и е вмъкната между двата паралелни слоя на вторичната намотка. И в двата случая се използва един и същ магнитопровод. Двете конструкции са реализирани физически, изграден е и прототип на преобразувателя. Проведени са експериментални изследвания с прототипа и с двата трансформатора с товар – суперкондензаторна банка. Получените резултати са анализирани, като анализите са подкрепени и с проведени симулационни изследвания. Извършена е оценка на работоспособността на двете решения.

[B4.8] **T. Todorova, D. Arnaudov and K. Kishkin, "Studying the Operating Modes of a Current Source DC/DC Converter with Voltage Clamping Across Resonant Capacitor and Different Designs of the High Frequency Transformer," 2020 21st International Symposium on Electrical Apparatus & Technologies (SIELA), Bourgas, Bulgaria, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/SIELA49118.2020.9167062.**

В статията се разглежда работата на преобразувател от постоянно в постоянно напрежение, реализиран чрез инвертор на ток с ограничаване на напрежението върху резонансен кондензатор. Преобразувателят е предназначен за зареждане на елементи за съхранение на енергия, като например суперкондензатори. Изследването на преобразувателя е извършено по отношение на

различни конструкции на високочестотния трансформатор в състава на преобразувателя. Разгледани са две конфигурации на намотките на трансформатора – едната със секционирани на двете половини на първичната намотка в двата противоположни края на макарата и с вторична намотка, разположена по средата, а другата с разполагане на двете половини на първичната намотка и на вторичната намотка по цялата ширина на макарата, като вторичната намотка е вмъкната между двете половини на първичната намотка. Двете конструкции са реализирани физически с два различни магнитопровода, изграден е и прототип на преобразувателя. Проведени са симулационни и експериментални изследвания на работата на преобразувателя с товар – суперкондензаторна банка. Извършена е оценка на работоспособността на двете решения.

**[B4.9]** D. Siderov, K. Viglov, **T. Todorova** and R. Stanev, "**An Open - Source Solar Charge Controller for LVDC Systems**," *2024 16th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF)*, Varna, Bulgaria, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/BulEF63204.2024.10794931.

В статията се представя проект на рентабилен соларен контролер с отворен код за зареждане на акумулаторни батерии в нисковолтови постоянно-токови (LVDC) мрежи. Хардуерен прототип на контролера е проектиран, реализиран и работата му е изпитана в лабораторна среда. Силовата верига на хардуера се основава на ключ с широчинно-импулсно управление. Резултатите показват адекватна производителност на контролера. Решението позволява удобна серийна комуникация с отворен код за мониторинг, контрол и регистриране на данни, както и лесни и бързи опции за преконфигуриране в зависимост от типа на батерията, например оловно-киселинни, литиеви, LiFePo4, Ni-Cd батерии. Също така, може да работи в системи с различни нива на постоянно напрежение, като например 51.2, 48, 36, 24, 12 волта. Контролерът позволява реализиране на типични алгоритми за зареждане и може да осигурява режими на постоянен ток, постоянно напрежение, постоянна мощност, плаващо зареждане и други.

**[B4.10]** V. C. Valchev, V. Chikov, V. Gyurov and **T. P. Todorova**, "**Two-stage low-frequency square-wave electronic ballast with analog and digital control**," *2017 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA)*, Sofia, Bulgaria, 2017, pp. 74-77, doi: 10.1109/ELMA.2017.7955404.

В статията се представя двузвенен нискочестотен импулсен електронен баласт (low-frequency square-wave; LFSW) с комбинирано аналогово и цифрово управление. Първото звено реализира корекция на коефициента на мощност (PFC) на устройството. Второто звено представлява модифициран полумостов (Half-Bridge; HB) преобразувател с интегрирана верига за запалване, осигуряващ надеждна работа и предотвратяващ отпушването на паразитния биполярен транзистор в MOSFET приборите. Комбинираното аналогово и цифрово управление осигурява възможност за работа с висока честота на превключване, за всеки полупериод на ниската работна честота. Проектирани и сравнени са няколко реализации на дросела от HB звеното, чрез използване на усъвършенствана методика за проектиране на високочестотни магнитни компоненти. За проектираните дросели са дадени масогабаритни показатели, извършена е оценка на загубите от вихрови токове и загубите в магнитопровода. Работата на баласта е експериментално проверена чрез физически прототип.

## 2.2. Резюмета на трудовете по показател Г7

- [Г7.1] **T. P. Todorova, "Simulation Investigation of a Power Amplifier Circuit for Measurements of Power Losses in Soft Magnetic Materials,"** 2020 28th National Conference with International Participation (TELECOM), Sofia, Bulgaria, 2020, pp. 149-152, doi: 10.1109/TELECOM50385.2020.9299553.

*В статията се представя изследване на високочестотни усилватели на мощност, предназначени за измерване на загубите на мощност в магнитно-меки материали за силовата електроника при синусоидално възбуждане. Първо се описват изискванията към една система за измерване на загубите при прилагане на широкоразпространения метод за измерване с двунамотъчен трансформатор с отворена вторична намотка, след което се представя описание на физическа реализация на такава измервателна система. След това, въз основа на проведени симулационни изследвания на два варианта за реализация на схемата на усилвателя (всяка с различен търговски наличен мощен операционен усилвател), е представен сравнителен анализ на честотните характеристики на двете схеми в условия на различни реализирани усилвания при еднакъв товарен импеданс и при различни стойности на товарните импеданси и еднакво усилване. Получените резултати подпомагат разработването на физическа реализация на специализираната измервателна система.*

- [Г7.2] **T. P. Todorova, "A Graphical Approach to Fast Identification of the Voltage and Current Requirements to Measure Core Loss at Target Measurement Conditions with Application to High-Frequency Power Amplifier Utilization,"** 2021 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Phoenix, AZ, USA, 2021, pp. 2848-2856, doi: 10.1109/APEC42165.2021.9487351. SJR 2020: 0.477; SJR 2021: 0.690

*В статията се въвежда концепция за графично представяне на напреженията и токовете, необходими за измерване на загубите в магнитопроводи за високочестотни магнитни компоненти в силовата електроника при различни работни условия. Фокусът е върху измервания със синусоидално възбуждане чрез метода с двунамотъчен трансформатор с отворена вторична намотка, като е представен и преглед на алтернативни методи. Въведеното графично представяне се използва за оценка на възможностите на високочестотен усилвател на мощност за провеждане на такива измервания. Предложеният подход е проверен и доказан експериментално чрез разработен за целта усилвател на мощност, демонстриращ неговата приложимост.*

- [Г7.3] **T. P. Todorova, "Large Signal Complex Permeability for Design and Simulation of Power Electronics Circuits,"** 2023 XXXII International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, Bulgaria, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/ET59121.2023.10279090.

*Статията въвежда концепция за голямосигнална комплексна магнитна проникваемост (Large-Signal Complex Permeability; LSCP) за характеризирание на магнитопроводи, използвани във високочестотни магнитни компоненти за силови импулсни преобразуватели. Предлага се метод за измерване на LSCP, основан на възбуждане на магнитопровода с правоъгълно напрежение с форма и амплитуда, съответстващи на реалните условия на работа. Извеждането на LSCP е демонстрирано чрез експериментални измервания, а приложимостта на концепцията е потвърдена чрез симулационни изследвания, в които експериментално измерени възбуждащи*

напряжения се използват за симулиране на токовете и сравнение с реално измерените токове. Използването на LSCP позволява по-точно предсказване на намагнитващата индуктивност и загубите в магнитопровода на магнитния компонент при реални режими на работа в импулсния преобразувател.

[Г7.4] **T. P. Todorova, "Control of N87 Mn-Zn Ferrite Permeability Using Externally Applied Static Magnetic Field," 2023 XXXII International Scientific Conference Electronics (ET),** Sozopol, Bulgaria, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ET59121.2023.10278596.

В статията се представят резултати от измервания на магнитната проницаемост на Mn-Zn ферит, марка N87, под въздействието на външно приложено статично магнитно поле. Измерванията са проведени чрез прилагане на външно статично магнитно поле, създадено от постоянен магнит, върху тестов магнитен компонент по време на нормално променливотоково възбуждане, при различни конфигурации на позиционирането между постоянния магнит, тествания магнитопровод и възбудителната намотка. Представени са резултати за честотните зависимости на началната комплексна магнитна проницаемост и съответния ъгъл на загубите, както и резултати относно ВН-цикли при една работна честота и голямосигнално възбуждане с правоъгълно напрежение. Получените резултати са представени графично и показват силна зависимост както на реалната, така и на имагинерната част на комплексната начална магнитна проницаемост от статичното магнитно поле. Резултатите показват, че при високи честоти ъгълът на загубите намалява. Друг основен извод е, че чрез прилагането на външното статично магнитно поле е възможно да се осъществява контрол върху използваемия работен честотен диапазон на феритите.

[Г7.5] **Y. R. Bratоеva and T. P. Todorova, "Automated DPT System and Approach for Characterizing MOSFET Switching Dynamics," 2025 XXXIV International Scientific Conference Electronics (ET),** Sozopol, Bulgaria, 2025, pp. 1-6, doi: 10.1109/ET66806.2025.11204139.

В статията се представя разработена автоматизирана система за изпитване с двоен импулс (Double-Pulse Test; DPT) и се предлага подход за автоматична последваща обработка на резултатите за характеризирание на динамиката на превключване на MOSFET силови прибори. Предложен е и удобен подход за генериране на управляващ DPT сигнал, при различните условия на измерванията. Системата е приложена за характеризирание на динамичните параметри на превключване на примерен тестов MOSFET в 15 работни точки. Събраните данни от измерванията след това са автоматично обработени, прилагайки предложенния подход за анализ на резултатите от измерванията. Представени са резултатите от измерените загуби от превключване и са сравнени със съответни резултати, получени чрез провеждане на SPICE симулации.

[Г7.6] **V. C. Valchev, T. P. Todorova, D. D. Yudov and D. J. Mareva, "Design considerations of inductors for induction heating of fluids," 2016 19th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA),** Bourgas, Bulgaria, 2016, pp. 1-3, doi: 10.1109/SIELA.2016.7543060.

В статията се представя методология за проектиране на индуктор за индукционно нагревателно устройство. Индукторът е предназначен за работа в LLC резонансен мостов

Резюме на научните трудове и справка за приносите, гл. ас. д-р инж. Теодора Тодорова  
Summary of scientific works and report on contributions, Chief Assist. Prof. Dr. Eng. Teodora Todorova

инвертор. Предложеният алгоритъм за проектиране осигурява оптимален избор на тръбата, размера и габаритите на индуктора. Изведени са електрическите параметри на намотката и са описани стъпки на методиката за проектиране. Предложени са специфични препоръки за проектирането: отчитане на скин-ефекта при избора на ширината на тръбата и изчисляване в съответствие с работната честота; загубите от вихрови токове в намотката могат да бъдат намалени с помощта на проводник тип Литцендрат или няколко проводника, свързани в паралел.

[Г7.7] D.Arnaudov, K. Kishkin, V. Dimitrov and **T. Todorova**, "**Methods for voltage equalization of energy storage systems**", *2021 PCIM Europe Conference Proceedings*, Virtual, Online, 2021, pp. 1485 - 1492, EID: 2-s2.0-85117725212. SJR 2020: 0.19.

В статията се представят два алгоритъма за балансиране на напреженията в система за съхранение на енергия, изградена от последователно свързани суперкондензаторни клетки. Концепцията за зареждане на батерийния пакет се основава на използване на източници на ток. Алгоритмите са проверени чрез компютърни симулации и експериментално на лабораторен стенд. Представени са основни изрази за изчисляване на зарядните токове и е извършено сравнение на характеристиките на двата алгоритъма.

[Г7.8] R. Stanev, C. Papadimitriou, V. Efthymiou, A. Krusteva, M. Georgiev, **T. Todorova**, M. Shalaby, P. Carroll, S. Khadem, M. Cabiati, L. Martini, C. Panayi, A. Morch, A. Mutule, T. Tsitsanis, G. Papadopoulos, I. Antoskova and A. Tsitsanis, "**PAN European Approach for Strengthening Research and Innovation in Smart Grids, Energy Storage and Local Energy Systems**," *2019 11th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF)*, Varna, Bulgaria, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030767.

В статията се представят основните цели, подход, резултати и предизвикателства по проекта PANTERA (PAN European Technology Energy Research Approach) по програмата H2020. Специален акцент е поставен върху работата, извършена в Балканския регион и първия семинар на PANTERA, проведен в София, България.

### 3. Справка за приносите

#### 3.1.Справка за приносите в трудовете равностойни на монография (показател В4)

Оценените от кандидата приноси на представените научни трудове еквивалентни на монографичен труд (по показател В4) попадат в категорията **научно-приложни** и са както следва:

- **Разработени са проекти на постановки за измерване на загуби и характеризирание на други специфични свойства на магнитопроводи за високочестотни магнитни компоненти, използвани в силовите електронни преобразуватели [В4.1, В4.2].** Предложените проекти подобряват проектирането на магнитни компоненти за силови преобразуватели с оптимални масогабаритни и енергетични показатели.

— **Публикация [В4.1] представя описание на проект и физическа реализация на силова схема и измервателна постановка за изпитване на магнитопроводи при синусоидално възбуждане.** Дадени са указания за оценка на грешката от измерването и насоки за използване на силовата схема. Синусоидалното възбуждане е класическата форма на сигнала, използван за

оценка на загубите в магнитопроводите и други техни специфични свойства. Подобни данни, които се докладват в техническите листи на търговски предлаганите магнитопроводи, стандартно се снемат чрез синусоидално възбуждане.

— Публикация [B4.2] представя описание на проект и физическа реализация на силова схема и измервателна постановка за изпитване на магнитопроводи при правоъгълно възбуждащо напрежение с различни продължителност и амплитуда на импулсите и на мъртвото време между тях. Изпитването с правоъгълно напрежение е от ключово значение за реалистична оценка на работата на магнитопроводите, тъй като това са действителните работни условия за магнитопровода в електронните преобразуватели, а свойствата при синусоидално и при различни по форма правоъгълни напрежения за едни и същи честота и магнитна индукция не са еднакви.

- Представени са резултати за специфични загуби на мощност и други специфични свойства на Mn-Zn феритен материал, намиращ широка употреба за високочестотни магнитни компоненти, използвани в силовите електронни преобразуватели [B4.1, B4.2]. Представените резултати подобряват проектирането на магнитни компоненти за силови преобразуватели с оптимални масогабаритни и енергетични показатели.

— Публикация [B4.1] представя резултати за загубите и амплитудната магнитна проникваемост на Mn-Zn ферит, марка N87, при синусоидално възбуждане с различни стойности на внесено постоянноотково отместване и различни стойности на магнитната индукция. Дадени са и съответните на различните измервания ВН-хистерезисни цикли. Резултатите показват че амплитудната магнитна проникваемост при постоянноотково отместване не е симетрична величина.

— Публикация [B4.2] представя резултати за загубите в Mn-Zn ферит, марка N87, при променливотоково правоъгълно възбуждащо напрежение с различни стойности на магнитната индукция и работната честота. Дадени са и съответните на различните измервания ВН-хистерезисни цикли.

- Предложени са нови подходи, модели и методи, подпомагащи внедряването на електронни преобразуватели с оптимизирани показатели в съвременни енергийни системи [B4.3 – B4.10].

— Публикация [B4.3] представя разработена и верифицирана концепция за топологична оптимизация на обратен преобразувател от постоянно в постоянно напрежение за интегриране във фотоволтаична система. В сравнение с конвенционалната схема, при равни други условия, предложената схемна разновидност позволява по-добра използваемост на фотоволтаичния генератор и понижени нива на електромагнитните смущения. Изградени са и симулационни модели и експериментални прототипи на предложената и конвенционалната топологии, подпомагащи анализа на работата на преобразувателите.

— Публикация [B4.4] представя разработена, анализирана и верифицирана топология на система за активно балансиране на заряда на клетки от батериен пакет. Предложената система може да бъде интегрирана във всяка система за съхранение на енергия, основана на акумулаторни батерии. Системата се основава на използването на обратен преобразувател от постоянно в постоянно напрежение с галванично разделяне, реализиран с планарен индуктор, при което предложеното решение постига добра производителност при висока технологичност и икономичност на изделието.

— Публикация [B4.5] представя разработени симулационни модели за изследване и анализ на действието на модулни резонансни електронни преобразуватели за интегриране в

**системи за съхранение на електрическа енергия с различни методи на свързване на входните вериги на модулите.** Извлечени и анализирани са изискванията по напрежение и ток към силовите прибори и пасивните компоненти в отделните модули. Представени са и разработени проекти на конструкции на необходимите за различните схеми на свързване трансформатори и получените резултати са сравнени. Извършената комплексна оценка показва, че оптимално решение се получава при паралелно включване на входните вериги на модулни електронни преобразуватели.

— Публикация [B4.6] представя експериментални разработки за изследване и анализ на действието на резонансен електронен преобразувател за интегриране в системи за съхранение на електрическа енергия. Работата предлага възможности за оптимизация на преобразувателя чрез различни методи на реализиране на високочестотния трансформатор – единствен трансформатор или модулен трансформатор. Конструирани са магнитни компоненти и са създадени два прототипа на преобразувателя. Представените проекти и резултати от експерименти са сравнени и анализирани. Извършените анализи показват, че от гледна точка на масогабаритни показатели, оптималното решение се получава при реализацията с един трансформатор. От друга страна, добро съвпадение между теоретично-формулираното задание за работните честоти и тези от експерименталните резултати, се получава при реализацията с два трансформатора.

— Публикации [B4.7] и [B4.8] представят подходи за оптимизация на постояннотокови преобразуватели с галванично разделяне чрез вариации в конструкциите на високочестотните трансформатори. Преобразувателите са предназначени за интегриране в системи за заряд на нисковолтови елементи за съхранение на енергия. Представени са данни за конструкциите на проектирани и физически реализирани трансформатори и резултати от симулационно моделиране и физически прототипи на преобразувателите. Получените резултати показват по нов начин влиянието на реализацията на магнитния компонент върху работните параметри на електронния преобразувател. В общия случай, когато се цели минимална индуктивност на разсейване, оптимални резултати се постигат при разположение на първичната и вторичната намотка една върху друга.

— Публикация [B4.9] представя описание и физическа реализация на рационализиран соларен заряден регулатор на акумулаторни батерии за интегриране в нисковолтова постояннотокова енергийна система с фотоволтаични генератори и постояннотокови товари. Предложеният регулатор осигурява адекватна производителност при минимален брой компоненти, повишена надеждност и висока икономичност на крайното устройство.

— Публикация [B4.10] представя разработена концепция за схемна разновидност на полумостова схема, която потиска възможността за включване на паразитния биполярен транзистор в структурата на MOSFET приборите. Предложеното решение подобрява надеждността на устройството. Също така, са проектирани три възможни конструкции на високочестотния магнитен компонент в полумостовата схема и резултатите са сравнени и анализирани. Извършеният анализ показва, че оптимална реализация се получава при използването на проводник, тип Литцендрат. Оптимизираната полумостовата схема е звено от устройство с входно PFC звено и е предназначена за внедряване в променливотокова енергийна система. Концепцията може да се прилага и в други решения, основани на полумостов преобразувател.

### **3.2.Справка за приносите в трудовете по показател Г7**

Оценените от кандидата приноси на представените научни трудове по показател Г7 попадат в категориите **научни и научно-приложни** и са както следва:

*Резюмета на научните трудове и справка за приносите, гл. ас. д-р инж. Теодора Тодорова*  
*Summary of scientific works and report on contributions, Chief Assist. Prof. Dr. Eng. Teodora Todorova*

### Научни приноси

- **Обоснован е нов научен проблем, отнасящ се до анализа на честотно-зависимата комплексна магнитна проницаемост на магнитно-меки феритни материали в областта на силовата електроника [Г7.4].**

— Публикация [Г7.4] предлага анализ на влиянието на външно статично магнитно поле върху честотно-зависимата комплексна магнитна проницаемост на Mn-Zn ферит (N87) за разширяване на методите за анализ на специфичните свойства на тези материали – анализ, който не се среща в предходните публикувани изследвания за магнитни материали, в областта на силовата електроника. Представени са експериментални честотни зависимости на началната комплексна магнитна проницаемост и ъгъла на загубите на широко използван в силовата електроника феритен материал при различни стойности на външно статично магнитно поле. Показано е, че при по-голям интензитет на статичното магнитно поле, ъгълът на загубите при високите честоти намалява. Изведен е извод, че чрез прилагане на външно статично магнитно поле с различен интензитет може да се осъществява регулируем контрол върху използваемия честотен диапазон на феритните материали за силовата електроника.

### Научно-приложни приноси

- **Разработени са симулационни модели за оценка на възможностите на усилватели на мощност за реализиране на силова схема за изпитване със синусоидално възбуждане на магнитни материали за високочестотни магнитни компоненти, използвани в електронни преобразуватели [Г7.1].**

— Публикация [Г7.1] предлага разработени симулационни модели на усилватели на мощност, реализирани с търговски налични операционни усилватели. Извършен е сравнителен анализ на действието на усилвателите при различни усилвания и товарни импеданси. Анализът оценява честотните характеристики и подпомага избора на оптимална схема за измерване на загубите в магнитно-меки материали. Получени са честотни характеристики на разглежданите усилвателни схеми, които подпомагат разработването и оптимизирането на физическата реализация на силовата схема.

- **Разработен е метод за оценка на възможностите на усилватели на мощност за реализиране на силова схема за изпитване със синусоидално възбуждане на магнитни материали за високочестотни магнитни компоненти, използвани в електронни преобразуватели [Г7.2].**

— Публикация [Г7.2] въвежда и описва концепция за графично представяне на необходимите токове и напрежения за измерване на загубите в магнитопроводи при синусоидално възбуждане и различни работни честота и магнитна индукция. Това графично представяне е основата на предложен разработен метод за визуална оценка на областта на постижимите измервания с високочестотни усилватели на мощност при измервания със синусоидално възбуждане, което дава възможност за бързо определяне на това кои комбинации от ток и напрежение могат да бъдат реализирани с конкретния високочестотен усилвател на мощност. Разработеният метод е експериментално проверен и доказан.

- **Предложена е нова концепция и е разработен метод за характеризиране на комплексната магнитна проницаемост на магнитопроводи за силовата електроника при реални условия на възбуждане, характерни за работата им в силови импулсни преобразуватели. [Г7.3].**

— Публикация [Г7.3] въвежда концепция и метод за характеризирание на голямосигнална комплексна магнитна проникваемост (LSCP), снета при правоъгълно възбуждащо напрежение. Предложената LSCP е обоснована и проверена и намира директно приложение при проектиране и симулационни изследвания на силови импулсни преобразуватели, като осигурява по-точно моделиране на намагнитващата индуктивност и загубите в магнитопровода на магнитния компонент при реални режими на работа. Представени са по нов начин потвърдителни факти, че представянето на комплексната магнитна проникваемост чрез последователна заместваща схема не осигурява достатъчна точност при симулиране и математически анализ на магнитния компонент като част от веригата на импулсния преобразувател.

- **Разработени са автоматизирана система за изпитване с двоен импулс (Double-Pulse Test; DPT) и подход за автоматична последваща обработка на резултатите за характеризирание на динамиката на превключване на MOSFET силови прибори [Г7.5].**

— Публикация [Г7.5] предлага система и алгоритъм за програмно управление на апаратура за автоматизирано изпитване с двоен импулс (DPT) на MOSFET силови прибори, позволяващи провеждане на тестове за набори от двойки стойности на дрейнов ток и напрежение дрейн–сорс. Разработен е алгоритъм за автоматична оценка на времеинтервалите на нарастване и спадане на напрежението и тока, както и на свързаните с тях загуби, осигуряващ коректна и напълно автоматизирана обработка на експерименталните данни от DPT измервания. Предложен е подход за автоматично определяне на продължителността на импулсите на управляващия DPT сигнал, който се самоадаптира към различните условия на измерване на изпитвания прибор. Извършено е сравнение между експериментално измерените динамични параметри и резултатите от SPICE симулации, което утвърждава предложената методика и разработената система. Реализирана е физическа автоматизирана система за изпитване с двоен импулс (DPT), включваща хардуерна част, управляващ софтуер и софтуерен модул за обработка и визуализация на резултатите. Представени са загубите от превключване в 15 работни точки на конкретен MOSFET транзистор, като функция от напрежението дрейн–сорс при независим параметър — дрейновия ток. Познаването на действителните загуби в транзисторите е от ключово значение за реализацията на оптимални електронни преобразуватели.

- **Предложена е методика за оразмеряване на индуктор за индукционно нагриване [Г7.6].**

— Публикация [Г7.6] представя методика за проектиране на индуктор за индукционно нагриване, предназначен за работа в резонансен инвертор.

- **Предложени са алгоритми за изравняване на напреженията в системи за съхранение на енергия [Г7.7].**

— Публикация [Г7.7] представя алгоритми за изравняване на напреженията чрез източници на ток в система за съхранение на енергия, изградена от последователно свързани елементи.

- **Изследвани са методи и средства за укрепване на научните и иновационните дейности по отношение на силовите електронни преобразуватели в областта на съвременните енергийни системи [Г7.8].**

— Публикация [Г7.8] представя приложени методи и средства за укрепване на научните и иновационните дейности по отношение на силовите електронни преобразуватели в областта на интелигентните електроенергийни мрежи, съхранението на енергия и локалните енергийни системи на регионално, национално и европейско ниво, предмет на проекта PANTERA, който е Coordination and Support Action (CSA) инициатива.

# SUMMARY OF SCIENTIFIC WORKS AND REPORT ON CONTRIBUTIONS

## Chief Assist. Prof. Dr. Eng. Teodora Plamenova Todorova

for participation in a competition for the academic position of "Associate Professor", in the professional field "5.2. Electrical Engineering, Electronics and Automation", specialty "Electronic Converters" at the Department of "Power Electronics", Faculty of Electronic Engineering and Technologies, Technical University of Sofia, published in the State Gazette No. 101 / 27.11.2025.

### 1. General characteristics of scientific works

For participation in the competition, 18 scientific papers (other than those related to the acquisition of the PhD degree) were submitted, which include:

- 10 scientific publications in English under indicator B4 (Habilitation thesis – scientific publications (no less than 10) in scientific editions that are referenced and indexed in world-renowned databases of scientific information).
- 8 scientific publications in English under indicator  $\Gamma 7$  (scientific publication in scientific editions that are referenced and indexed in world-renowned databases of scientific information).

The publications equivalent to a monograph are united under the general title "Improvement of electronic converters with application in modern power systems". This is the main direction of development of the applicant's research and thematically covers her entire scientific production in recent years. Specifically, these publications fall into two thematic sub-areas:

- III. Specific properties of magnetic cores for high-frequency magnetic components for power electronic converters – papers [B4.1, B4.2].
- IV. Topological and hardware optimization of electronic converters for integration in modern energy systems – papers [B4.3 – B4.10].

Of the papers presented under indicator  $\Gamma 7$ , the first of the above sub-areas also includes the papers [ $\Gamma 7.1 – \Gamma 7.4$ ]. The research and results reported in the papers [ $\Gamma 7.5 – \Gamma 7.8$ ] are in the following sub-areas: [ $\Gamma 7.5$ ] – characterization of dynamic parameters of semiconductor devices; [ $\Gamma 7.6$ ] – inductors in resonant inverters for induction heating; [ $\Gamma 7.7$ ] – methods for voltage equalization in energy storage systems; [ $\Gamma 7.8$ ] – strengthening scientific and innovation activities regarding power electronic converters in the field of modern power systems (at regional, national and European levels).

### 2. Summaries of scientific publications

#### 2.1. Summaries of publications equivalent to a monograph (indicator B4)

- [B4.1] **T. P. Todorova** and A. Van Den Bossche, "**Set-up and measurements on a Mn-Zn ferrite ring core under sinusoidal excitation and dc bias conditions**," *2021 23rd European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'21 ECCE Europe)*, Ghent, Belgium, 2021, pp. 1-10, doi: 10.23919/EPE21ECCEurope50061.2021.9570549.

*The paper presents a hardware implementation of an experimental setup for measuring losses in high-frequency magnetic cores under pure sinusoidal AC excitation, as well as under sinusoidal excitation with an introduced DC component. The setup uses a power amplifier designed and physically implemented for*

*the purpose and is applied to study the losses in a toroidal Mn-Zn ferrite core without an air gap. The measurements were carried out at room temperature and a frequency of 100 kHz. The losses in the magnetic core were determined at different amplitudes of the AC excitation and under the same conditions with different levels of DC bias. The obtained B-H cycles, specific power losses and effective magnetic amplitude permeability are presented. The results show that in the presence of DC bias, the effective amplitude permeability becomes asymmetric. Practical considerations related to the use of the power amplifier are also discussed.*

**[B4.2] T. P. Todorova, "4-Switch GaN Converter Based Set-Up for High Frequency Magnetics' Characterization,"** 2025 *International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP) & 2025 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, Timisoara, Romania, 2025, pp. 1-7, doi: 10.1109/OPTIM-ACEMP62776.2025.11075251.

*The paper presents a hardware implementation of an experimental setup for characterizing high-frequency magnetic cores under rectangular voltage excitation, based on a designed and physically implemented 4-switch electronic converter with GaN transistors. The selected topology of the power stage provides flexibility of measurements, allowing excitation of the magnetic core with rectangular voltages of different shapes both in pure AC mode and with an added DC component. The system provides control over the duty cycle and dead time, which provides the possibility of testing with different waveshapes of rectangular excitation typical of power electronics. The proposed power circuit allows measuring losses in magnetic circuits at frequencies up to the MHz range. The operation of the system is demonstrated experimentally with a Mn-Zn ferrite toroidal core under three types of rectangular AC excitation. Measurement results are presented and analyzed.*

**[B4.3] T. P. Todorova, D. D. Arnaudov and K. Y. Kishkin, "Evaluation of Alternative Flyback-Based Converter Configurations for Li-Ion Battery Charging,"** 2021 *44th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, Bautzen, Germany, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISSE51996.2021.9467511.

*The paper discusses a schematic variation of a DC-DC converter with galvanic separation (flyback topology) for charging a lithium-ion battery pack from a photovoltaic generator. The circuit uses two separate magnetic components, with their primary windings connected in series to the input source via the power transistor, while each secondary winding has a separate rectifier diode and output capacitor, which are then combined in parallel to collectively deliver power to the battery pack. Compared to the conventional flyback topology, with the same inductances, the proposed schematic variation allows operation in the discontinuous conduction mode for a longer time with the transistor turned off. This expands the operating range in this mode to lower input voltages, which improves the usability of the photovoltaic generator when its operating temperature increases or when its working surface is partially shaded. The performance of the proposed variant is compared with that of the conventional topology through developed simulation models of both circuits and through experiments with physically implemented prototypes, thus validating its performance. In the experiments, a battery pack of lithium-ion cells was used as a load.*

**[B4.4] D. D. Stefanov, T. P. Todorova and V. C. Valchev, "A Flyback Converter Based System for an Active Charge Balancing of Li-Ion Battery Packs,"** 2018 *IEEE XXVII International Scientific Conference Electronics - ET*, Sozopol, Bulgaria, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ET.2018.8549663.

*The paper proposes a topology of a system for active charge balancing of cells in a battery pack. The proposed system is built by connecting individual "flyback" converters to each cell of the battery pack. The flyback topology was chosen to achieve a minimum final cost and high manufacturability of the product. For this purpose, it is assumed to work with a planar inductor with one turn of the primary winding. To validate the proposed system, a physical prototype of a single balancing branch of the system was implemented. A study of the efficiency of the prototype was carried out using different operating parameters of the converter control signal when charging battery packs formed from two types of cells - standard Li-Ion and LiFePo4 cells. The impact on the circuit performance in the best and worst case was further studied by examining the waveforms of currents and voltages obtained from the experiments.*

**[B4.5]** D. Arnaudov, T. Todorova and V. Dimitrov, "**Study of Converters for Energy Storage Systems in Parallel Operation of Modules or Elements**," 2023 18th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), Varna, Bulgaria, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/ELMA58392.2023.10202536.

*The paper discusses various schemes for connecting electronic converter modules or elements in a converter module to obtain a certain output power, by using modules or elements with lower power. Converters are designed to transfer energy from high-voltage to low-voltage subsystems in energy storage systems. The article analyzes two configurations of module connection - series and parallel connection of several converter devices with respect to the input, and in both cases the corresponding output circuits are connected in parallel to a common load (SIPO and PIPO configurations, respectively). For the purposes of the analysis, an LLC resonant DC-DC converter was adopted, which finds wide applicability in the applications of modern energy storage systems. Simulation models with LLC converters were built and an analysis was performed using simulation studies conducted with them. Based on the results of the studies, input data were defined, which were used to design the transformers necessary for the implementation of the LLC modules depending on the configuration in which the modules will be connected (SIPO or PIPO). The data for the designed transformers are presented and analyzed. Analyses are also presented regarding the semiconductor devices in the input circuit, as well as the resonant capacitors.*

**[B4.6]** D. Arnaudov, T. Todorova and V. Dimitrov, "**Study of LLC Resonant Converter with Multi-Transformer Topology**," 2024 23rd International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Bourgas, Bulgaria, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/SIELA61056.2024.10637888.

*The paper presents an analysis of the operation of an LLC resonant DC-DC converter to ensure galvanically decoupled transfer of DC energy from a high-voltage to a low-voltage system in an electric vehicle. The analysis considers two variants of the implementation of the converter – using one powerful transformer and two lower-power transformers with series-connected primary windings and output circuits connected in parallel to a common load (SIPO configuration), respectively. For the purposes of the study, an LLC converter was designed for energy transfer when operating with a high input voltage. Then, experimental prototypes of scaled voltage and power versions of the converter in both configurations are presented while maintaining the values of the dimensioned passive components in the resonant circuits and the corresponding resonant frequencies. For the implementation of the prototypes, the magnetic components – three transformers and one AC inductor – were designed and physically realized. Experimental studies with minimum and maximum input voltage were carried out with the prototypes, while maintaining constant output voltage and load power. A corresponding comparative analysis of the results obtained is presented. An assessment of the performance of both solutions and the*

resulting operating frequencies required was performed in comparison with theoretically formulated expectations.

- [B4.7] **T. P. Todorova**, D. D. Arnaudo, K. Y. Kishkin and N. L. Hinov, "**Study of the operating modes of a DC-DC converter with different designs of the high frequency transformer**," *2019 IEEE XXVIII International Scientific Conference Electronics (ET)*, Sozopol, Bulgaria, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ET.2019.8878602.

*The paper presents a study of the operation of a galvanically isolated single-switch resonant DC-DC converter. The converter is designed for charging low-voltage energy storage elements, such as supercapacitors. The study of the converter was carried out with respect to different designs of the high-frequency transformer. Two designs were considered - one with sectioning of the windings at the two opposite ends of the coil former, and the other with dividing the secondary winding into two parallel layers spread along the entire width of the coil former, with the primary winding also spread along the entire width of the spool and inserted between the two parallel layers of the secondary winding. In both cases, the same magnetic core is used. Both designs were physically implemented, and a prototype of the converter was also built. Experimental studies were conducted with the prototype and with both transformers with a load - a supercapacitor bank. The results obtained were analyzed, and the analyses were also supported by simulation studies. An assessment of the performance of both solutions was performed.*

- [B4.8] **T. Todorova**, D. Arnaudov and K. Kishkin, "**Studying the Operating Modes of a Current Source DC/DC Converter with Voltage Clamping Across Resonant Capacitor and Different Designs of the High Frequency Transformer**," *2020 21st International Symposium on Electrical Apparatus & Technologies (SIELA)*, Bourgas, Bulgaria, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/SIELA49118.2020.9167062.

*The paper examines the operation of a DC-DC converter implemented by a current inverter with voltage clamping across a resonant capacitor. The converter is designed for charging energy storage elements, such as supercapacitors. The study of the converter was carried out with respect to different designs of the high-frequency transformer in the converter. Two configurations of the transformer windings were considered - one with sectioning of the two halves of the primary winding at the two opposite ends of the coil former and with a secondary winding located in the middle, and the other with the arrangement of the two halves of the primary winding and the secondary winding along the entire width of the coil former, with the secondary winding inserted between the two halves of the primary winding. Both designs were physically implemented with two different magnetic cores, and a prototype of the converter was also built. Simulation and experimental studies of the operation of the converter with a load - a supercapacitor bank were conducted. An assessment of the operability of both solutions was performed.*

- [B4.9] D. Siderov, K. Viglov, **T. Todorova** and R. Stanev, "**An Open - Source Solar Charge Controller for LVDC Systems**," *2024 16th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF)*, Varna, Bulgaria, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/BulEF63204.2024.10794931.

*The paper presents a project of a cost-effective open-source solar controller for charging batteries in low-voltage direct current (LVDC) systems. The hardware prototype of the controller was designed and implemented, and its operation was tested in a laboratory environment. The power circuit of the hardware is based on a switch with pulse-width control. The results show adequate performance of the controller. The solution allows convenient open-source serial communication for monitoring, control and data*

logging, as well as easy and fast reconfiguration options depending on the battery type, e.g. lead-acid, lithium, LiFePo4, Ni-Cd batteries. Also, it can work in systems with different constant voltage levels, such as 51.2, 48, 36, 24, 12 volts. The controller allows the implementation of typical charging algorithms and can provide constant current, constant voltage, constant power, float charging and others.

[B4.10] V. C. Valchev, V. Chikov, V. Gyurov and **T. P. Todorova**, "**Two-stage low-frequency square-wave electronic ballast with analog and digital control**," *2017 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA)*, Sofia, Bulgaria, 2017, pp. 74-77, doi: 10.1109/ELMA.2017.7955404.

*The paper presents a two-stage low-frequency square-wave electronic ballast (LFSW) with combined analog and digital control. The first stage of the ballast implements power factor correction (PFC) of the device. The second stage is a modified half-bridge (HB) converter with an integrated ignition circuit, ensuring reliable operation and preventing the triggering of the parasitic bipolar transistor in MOSFET devices. The combined analog and digital control provide the ability to operate with a high switching frequency for each half-cycle of the low operating frequency. Several implementations of the DC choke of the HB stage were designed and compared, using an advanced methodology for designing high-frequency magnetic components. The weight and dimensions of the designed chokes are given, and the eddy current losses and losses in the magnetic core were estimated. The operation of the ballast was experimentally validated using a physical prototype.*

## **2.2. Summaries of publications under indicator Г7**

[Г7.1] **T. P. Todorova**, "**Simulation Investigation of a Power Amplifier Circuit for Measurements of Power Losses in Soft Magnetic Materials**," *2020 28th National Conference with International Participation (TELECOM)*, Sofia, Bulgaria, 2020, pp. 149-152, doi: 10.1109/TELECOM50385.2020.9299553.

*The paper presents a study of high-frequency power amplifiers intended for measuring power loss in soft magnetic materials for power electronics under sinusoidal excitation. First, the requirements for a loss measurement system based on the widely used no-load transformer measurement method are described, then a description of a physical implementation of such a measurement system is presented. Then, based on simulation studies of two variants of the amplifier circuit implementation (each with a different commercially available high-power operational amplifier), a comparative analysis of the frequency characteristics of the two circuits is presented under conditions of different implemented gains at the same load impedance and at different values of the load impedances and the same gain. The results obtained support the development of a physical implementation of the specialized measurement system.*

[Г7.2] **T. P. Todorova**, "**A Graphical Approach to Fast Identification of the Voltage and Current Requirements to Measure Core Loss at Target Measurement Conditions with Application to High-Frequency Power Amplifier Utilization**," *2021 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Phoenix, AZ, USA, 2021, pp. 2848-2856, doi: 10.1109/APEC42165.2021.9487351. SJR 2020: 0.477; SJR 2021: 0.690

*The paper introduces a concept for graphical representation of voltages and currents required for measuring losses in magnetic cores for high-frequency magnetic components in power electronics under various operating conditions. The focus is on measurements with sinusoidal excitation using the no-load*

*transformer test method, while a review of alternative methods is also presented. The introduced graphical representation is used to evaluate the capabilities of a high-frequency power amplifier for conducting such measurements. The proposed approach is validated experimentally using a power amplifier developed for the purpose, demonstrating its applicability.*

**[Г7.3] T. P. Todorova, "Large Signal Complex Permeability for Design and Simulation of Power Electronics Circuits," 2023 XXXII International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, Bulgaria, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/ET59121.2023.10279090.**

*The paper introduces a concept of Large-Signal Complex Permeability (LSCP) for characterizing magnetic cores used in high-frequency magnetic components for power electronic converters. A method for measuring LSCP is proposed, which is based on exciting the magnetic core using a rectangular voltage that has a waveshape and amplitude corresponding to real operating conditions. The derivation of LSCP is demonstrated by experimental measurements, and the applicability of the concept is confirmed by simulation studies, in which experimentally measured excitation voltages are used to simulate currents and compare them with the actually measured currents. The use of LSCP allows for a more accurate prediction of the magnetizing inductance and losses in the magnetic core of the magnetic component under real operating conditions in the power converter.*

**[Г7.4] T. P. Todorova, "Control of N87 Mn-Zn Ferrite Permeability Using Externally Applied Static Magnetic Field," 2023 XXXII International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, Bulgaria, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ET59121.2023.10278596.**

*The paper presents results of measurements of the magnetic permeability of Mn-Zn ferrite, grade N87, under the influence of an externally applied static magnetic field. The measurements were carried out by applying an external static magnetic field, created by a permanent magnet, to a test magnetic component during normal AC excitation, with different configurations of the positioning between the permanent magnet, the tested magnetic core and the excitation coil. Results are presented for the frequency dependences of the initial complex magnetic permeability and the corresponding loss angle, as well as results regarding BH-cycles at one operating frequency and large-signal excitation with a rectangular voltage. The obtained results are presented graphically and show a strong dependence of both the real and imaginary parts of the complex initial magnetic permeability on the static magnetic field. The results show that at high frequencies the loss angle decreases. Another main conclusion is that by applying the external static magnetic field it is possible to control the usable operating frequency range of the ferrites.*

**[Г7.5] Y. R. Bratoeva and T. P. Todorova, "Automated DPT System and Approach for Characterizing MOSFET Switching Dynamics," 2025 XXXIV International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, Bulgaria, 2025, pp. 1-6, doi: 10.1109/ET66806.2025.11204139.**

*The paper presents a developed automated Double-Pulse Test (DPT) system and proposes an approach for automatic post-processing of the results for characterizing the switching dynamics of MOSFET power devices. A convenient approach for generating a control DPT signal under different measurement conditions is also proposed. The system is applied to characterize the dynamic switching parameters of an exemplary test MOSFET at 15 operating points. The collected measurement data are then automatically processed, applying the proposed approach for analyzing the measurement results. The*

results of the measured switching losses are presented and compared with corresponding results obtained by conducting SPICE simulations.

- [Г7.6] V. C. Valchev, T. P. Todorova, D. D. Yudov and D. J. Mareva, "**Design considerations of inductors for induction heating of fluids**," 2016 19th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Bourgas, Bulgaria, 2016, pp. 1-3, doi: 10.1109/SIELA.2016.7543060.

*The paper presents a methodology for designing an inductor for an induction heating device. The inductor is designed to operate in an LLC resonant bridge inverter. The proposed design algorithm provides an optimal choice of the tube, size and dimensions of the inductor. The electrical parameters of the coil are derived, and the steps of the design methodology are described. Specific design recommendations are proposed: considering the skin effect when choosing the width of the pipe and calculating it in accordance with the operating frequency; eddy current losses in the coil can be reduced using a Litz wire or several wires connected in parallel.*

- [Г7.7] D. Arnaudov, K. Kishkin, V. Dimitrov and T. Todorova, "**Methods for voltage equalization of energy storage systems**", 2021 PCIM Europe Conference Proceedings, Virtual, Online, 2021, pp. 1485 - 1492, EID: 2-s2.0-85117725212. SJR 2020: 0.19.

*The paper presents two algorithms for balancing voltages in an energy storage system built from series-connected supercapacitor cells. The concept of charging the battery pack is based on the use of current sources. The algorithms are verified through computer simulations and experimentally on a laboratory bench. Basic expressions for calculating the charging currents are presented and a comparison of the characteristics of the two algorithms is made.*

- [Г7.8] R. Stanev, C. Papadimitriou, V. Efthymiou, A. Krusteva, M. Georgiev, T. Todorova, M. Shalaby, P. Carroll, S. Khadem, M. Cabiati, L. Martini, C. Panayi, A. Morch, A. Mutule, T. Tsitsanis, G. Papadopoulos, I. Antoskova and A. Tsitsanis, "**PAN European Approach for Strengthening Research and Innovation in Smart Grids, Energy Storage and Local Energy Systems**," 2019 11th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030767.

*The paper presents the main objectives, approach, results and challenges of the PANTERA (PAN European Technology Energy Research Approach) project under the H2020 program. Special emphasis is placed on the work carried out in the Balkan region and the first PANTERA workshop held in Sofia, Bulgaria.*

### 3. Report on contributions

#### 3.1. Report on contributions in publications equivalent to a monograph (indicator B4)

The contributions of the submitted scientific works equivalent to monographic work (under indicator B4), as assessed by the applicant, fall into the category of **scientific-applied contributions** and are as follows:

➤ **Developed experimental setups for loss measurement and characterization of other specific properties of magnetic cores for high-frequency magnetic components used in power electronic converters [B4.1, B4.2].** The proposed designs improve the development of magnetic components for power converters with optimal weight-size and energy performance indicators.

— **Publication [B4.1] provides a description of the design and physical implementation of a power stage and a measurement setup for testing magnetic cores under sinusoidal excitation.** Guidelines for measurement error estimation and instructions for operating the power stage are presented. Sinusoidal excitation is the classical waveform used to evaluate core losses and other specific magnetic properties. Such data, typically reported in the datasheets of commercially available magnetic cores, are standardly obtained through sinusoidal excitation.

— **Publication [B4.2] describes the design and physical implementation of a power stage and a measurement setup for testing magnetic cores under rectangular excitation voltage with varying pulse durations, amplitudes, and dead-time intervals.** Testing with rectangular voltage is crucial for a realistic evaluation of magnetic core performance, as these are the actual operating conditions within electronic converters. Furthermore, magnetic properties under sinusoidal excitation differ from those under various rectangular waveforms, even at the same frequency and magnetic induction levels.

➤ **Presented results regarding specific power losses and other specific properties of Mn-Zn ferrite material—widely used for high-frequency magnetic components in power electronic converters [B4.1, B4.2].** These results enhance the design of magnetic components for power converters, achieving optimal weight-size and energy performance indicators.

— **Publication [B4.1] presents results for the core losses and amplitude permeability of N87 grade Mn-Zn ferrite under sinusoidal excitation with varying DC bias levels and different magnetic flux density values.** The corresponding B-H hysteresis loops for the various measurements are also provided. The results demonstrate that amplitude permeability under DC bias conditions is not symmetrical.

— **Publication [B4.2] presents results for the losses in N87 grade Mn-Zn ferrite under AC rectangular excitation voltage at various magnetic flux density values and operating frequencies.** The corresponding B-H hysteresis loops for the different measurements are also provided.

➤ **Proposed new approaches, models, and methods assisting the integration of electronic converters with optimized parameters in modern energy systems [B4.3 – B4.10].**

— **Publication [B4.3] presents a developed and verified concept for topological optimization of a flyback converter for integration into a photovoltaic system.** Compared to the conventional circuit, under equal conditions, the proposed circuit variation enables better utilization of the photovoltaic generator and reduced levels of electromagnetic interference (EMI). Simulation models and experimental prototypes of both the proposed and conventional topologies were developed to support the performance analysis of the converters.

— **Publication [B4.4] presents a developed, analyzed, and verified topology of a system for active charge balancing of battery pack cells.** The proposed system can be integrated into any battery-based energy storage system. The system is based on a flyback converter, implemented with a planar inductor, through which the proposed solution achieves high performance along with high manufacturability and cost-effectiveness.

— **Publication [B4.5] presents developed simulation models for the investigation and analysis of modular resonant electronic converters intended for integration into electrical energy storage systems with various input circuit connection methods.** The voltage and current requirements for

semiconductor devices and passive components in the individual modules are derived and analyzed. Design projects for the transformers required for the different connection schemes are presented, and the results obtained are compared. The comprehensive assessment conducted shows that an optimal solution is achieved by parallel connection of the modules' input circuits.

— **Publication [B4.6] presents experimental developments for the investigation and analysis of a resonant electronic converter for integration into electrical energy storage systems.** The work proposes opportunities for converter optimization through different methods of high-frequency transformer implementation – a single transformer or a modular transformer approach. Magnetic components are designed and realized, and two converter prototypes are developed. The presented designs and experimental results are compared and analyzed. The analyses conducted show that, in terms of weight and dimensions, the optimal solution is achieved with single-transformer implementation. On the other hand, a better alignment between the theoretically formulated operating frequency specifications and the experimental results is observed in the implementation with two transformers.

— **Publications [B4.7] and [B4.8] present approaches for the optimization of galvanically isolated DC-DC converters through variations in the design of high-frequency transformers.** The converters are designed for integration into charging systems for low-voltage energy storage elements. Data on the design of the engineered and physically implemented transformers are presented, along with results from simulation modeling and physical prototypes of the converters. The obtained results demonstrate in a novel way the influence of the magnetic component implementation on the operating parameters of the electronic converter. In general, when minimal leakage inductance is targeted, optimal results are achieved by placing the primary and secondary windings on top of each other.

— **Publication [B4.9] presents the description and physical implementation of a rationalized solar charge controller for integration into a low-voltage DC power system with photovoltaic generators and DC loads.** The proposed controller provides adequate performance with a minimum number of components, increased reliability, and high cost-effectiveness of the final product.

— **Publication [B4.10] presents a developed concept for a half-bridge circuit variation that suppresses the possibility of parasitic turn-on of the bipolar transistor within the devices.** This improves the reliability of the end device intended for connection to the AC power grid. Three potential designs for the high-frequency magnetic component in the half-bridge circuit were engineered and their results compared. The analysis conducted demonstrates that the optimal implementation of the magnetic component is achieved by using Litz wire.

— **Publication [B4.10] presents a developed concept for a half-bridge circuit variation that suppresses the turn-on of the parasitic bipolar transistor within the MOSFET structure. The proposed solution enhances the device reliability.** Additionally, three potential designs for the high-frequency magnetic component in the half-bridge circuit are engineered, and the results are compared and analyzed. The analysis demonstrates that the optimal implementation is achieved by using Litz wire. The optimized half-bridge circuit is a stage of a system featuring an input PFC stage and is intended for integration into an AC power system. The concept is also applicable to other solutions based on half-bridge converters.

### **3.2. Report on contributions in publications under indicator Г7**

The contributions of the submitted scientific works under indicator Г7, as assessed by the applicant, fall into the categories of **scientific** and **scientific-applied**, and are as follows:

### Scientific contributions

- **Substantiated a new scientific problem concerning the analysis of the frequency-dependent complex permeability of soft ferrites in the field of power electronics [Г7.4].**

— Publication [Г7.4] proposes an analysis of the influence of an external static magnetic field on the frequency-dependent complex permeability of Mn-Zn ferrite (N87) to expand the methods for analyzing the specific properties of these materials—an analysis not previously reported in research on magnetic materials in the field of power electronics. Experimental frequency dependencies of the initial complex permeability and the loss angle of a ferrite material widely used in power electronics are presented under various intensities of an external static magnetic field. It is demonstrated that at higher intensities of the static magnetic field, the loss angle at high frequencies decreases. The conclusion is drawn that by applying an external static magnetic field of varying intensity, adjustable control over the usable frequency range of ferrite materials for power electronics can be achieved.

### Scientific-applied contributions

- **Developed simulation models to evaluate the capabilities of power amplifiers for implementing a test circuit for sinusoidal excitation of magnetic materials for high-frequency components used in electronic converters [Г7.1].**

— Publication [Г7.1] presents developed simulation models of power amplifiers implemented with commercially available operational amplifiers. A comparative analysis of the amplifiers' performance under various gains and load impedances is conducted. The analysis evaluates the frequency characteristics and assists in selecting an optimal circuit for measuring losses in soft magnetic materials. Frequency response data for the examined amplifier circuits are obtained, facilitating the development and optimization of the physical implementation of the power test circuit.

- **Developed a method to evaluate the capabilities of power amplifiers for implementing a test circuit for sinusoidal excitation of magnetic materials for high-frequency magnetic components used in electronic converters [Г7.2].**

— Publication [Г7.2] introduces and describes a concept for the graphical representation of the required currents and voltages for measuring magnetic core losses under sinusoidal excitation at various operating frequencies and magnetic flux densities. This graphical representation forms the basis of a proposed method for the visual assessment of the achievable measurement range using high-frequency power amplifiers under sinusoidal excitation, enabling rapid determination of which current and voltage combinations can be realized with a specific high-frequency power amplifier. The developed method is experimentally verified and proven.

- **Proposed a new concept and developed a method for characterizing the complex magnetic permeability of magnetic cores for power electronics under real excitation conditions, typical for their operation in switch-mode power converters [Г7.3].**

— Publication [Г7.3] introduces a concept and a method for characterizing Large-Signal Complex Permeability (LSCP) measured under rectangular voltage excitation. The proposed LSCP is substantiated and verified, finding direct application in the design and simulation of switch-mode power converters by providing more accurate modeling of magnetizing inductance and core losses of the magnetic component under real operating conditions. Novel evidence is presented showing that representing complex magnetic permeability through a series equivalent circuit does not provide sufficient accuracy for the simulation and mathematical analysis of the magnetic component as part of a switch-mode converter circuit.

➤ **Developed an automated Double-Pulse Test (DPT) system and an automated post-processing approach for the results to characterize the switching dynamics of power MOSFETs [Γ7.5].**

— Publication [Γ7.5] proposes a system and an algorithm for software control of automated Double-Pulse Test (DPT) equipment for power MOSFETs, enabling testing across sets of drain current and drain-source voltage pairs. An algorithm for the automated estimation of voltage and current rise and fall times, as well as the associated switching losses, is developed, ensuring accurate and fully automated post-processing of experimental DPT data. An approach for the automatic determination of the DPT control pulses' durations is proposed, which self-adapt to the various testing conditions of the device under test (DUT). A comparison between experimentally measured dynamic parameters and SPICE simulation results is conducted, validating the proposed methodology and the developed system. A physical automated Double-Pulse Test (DPT) system is implemented, comprising hardware, control software, and a software module for data processing and visualization. Switching losses at 15 operating points of a specific MOSFET are presented as a function of the drain-source voltage with the drain current as an independent parameter. Accurate knowledge of actual transistor losses is crucial for the implementation of optimized electronic converters.

➤ **Proposed a methodology for the design and sizing of an induction heating inductor [Γ7.6].**

— Publication [Γ7.6] presents a methodology for the design of an induction heating inductor intended for operation in a resonant inverter.

➤ **Proposed algorithms for voltage equalization in energy storage systems [Γ7.7].**

— Publication [Γ7.7] presents algorithms for voltage equalization using current sources in an energy storage system composed of series-connected cells.

➤ **Investigated methods and means for strengthening research and innovation activities regarding power electronic converters in the field of modern energy systems [Γ7.8]**

— Publication [Γ7.8] presents applied methods and means for strengthening research and innovation activities regarding power electronic converters in the field of smart grids, energy storage, and local energy systems at regional, national, and European levels, within the framework of the PANTERA project—a Coordination and Support Action (CSA) initiative.