

**Резюмета на научните трудове и справка за приносите**  
**на гл. ас д-р инж. Валентин Ангелов Миленов**  
**за участие в конкурс за заемане на АД „доцент“**  
**по професионално направление 5.2 „Електротехника, електроника и**  
**автоматика”, специалност „Електрически машини”,**  
**за нуждите на катедра „Електрически машини и индустриална**  
**електротехника”,**  
**Електротехнически факултет на Технически университет – София,**  
**обявен в ДВ бр.101 от 27.11.2025 г.**

За участие в конкурса са представени общо 17 труда на кандидата, които  
включват:

- Хабилизационен труд – монография;
- За изпълнение на показателите от Група Г са представени 15 публикации индексирани в Scopus, и 1 публикация в нереперирани списания с научно рецензиране.

### **Група В3. Хабилизационен труд – монография**

**М1. Миленов, В.,** Фотоволтаични системи с хибридни инвертори, София 2026, Издателство на Технически университет – София, ISBN: 978-619-167-597-5

Монографичният труд е разработен в обем от 146 печатни страници, като е оформен в седем глави. Съдържа 149 графични изображения и библиография от 150 литературни източници.

В първата глава са представени общи данни за развитието на възобновяемите енергийни източници и на фотоволтаичните системи по света. Разглежда се статистика за инсталираните мощности, тенденции в производството на енергия и въпроси, свързани с рециклирането на ФВ панели.

Във втората глава се анализират различните технологии за ФВ клетки и модули – от стандартните кристални клетки до иновативни решения като PERC, back-contact и двулицеви панели, и е направен сравнителен анализ между тях. Реализирана е графика с историческото развитие на ФВ клетки от кристален силиций след въвеждането на PERC технологията. Особено внимание е отделено на двулицевите ФВ панели, които стават все по-популярни и започват да доминират пазара за сметка на еднолицевите, благодарение на своите отлични характеристики и широка приложимост.

Третата глава представя видовете и класификациите на инверторите за ФВ системи. Направена е класификация според мощността – централни, стрингови, мултистрингови и микроинвертори; според свързаността им към мрежата – “On Grid” и инвертор тип “Battery ready”.

Основно ФВ инвертори се разделят на три типа:

- с връзка с мрежата;
- без връзка с мрежата;
- хибриден инвертор.

Четвъртата глава е посветена на хибридните инвертори. Направена е съвременна класификация на тези устройства и са описани различни типове (off-grid с АС зарядно, all-in-one, инвертори само с DC оптимизатори). Анализирани са различни стратегии за управление на хибридните инвертори – приоритетно собствено потребление, резервно захранване, балансиране на товара, работа в островен режим и други. Изборът на подходяща стратегия е от съществено значение за ефективността и надеждността на ФВ системи с батерии, като се доказва, че адаптацията към конкретните условия на експлоатация е ключова за постигане на оптимални резултати. Разгледан е вариантът на хибриден инвертор с интелигентен товар. Създаден е алгоритъм за включване на интелигентния товар при определени условия. Направен е обзор на софтуерните системи за мониторинг и събиране на данни във ФВ системи с хибридни инвертори, като са показани реални примери от работещи системи.

Петата глава разглежда батерийните системи за съхранение на енергия. Разгледани са подробното тяхното устройство, функционалности и различни конфигурации. Направен е анализ на големите батерийни комплекси над 2 MWh, дадени са примери за охладителни системи. В контекста на глобалната енергийна трансформация интеграцията на батерийни системи за съхранение на енергия към ФВ инсталации е от критично значение за стабилността на електроенергийната мрежа. Особено при големи ФВ паркове батериите играят важна роля за намаляване на флукуациите и осигуряване на надеждни доставки на електроенергия.

В шестата глава са описани софтуерните средства за симулация на ФВ системи и конкретни симулационни изследвания (например на малка система (2,76 kWp) със SolarEdge). Друго симулационно изследване, описано в тази глава, се базира на софтуера SketchUp/Skelion, чрез който се реализират 3D модели на сградата на 12-ти учебен блок след заснемането ѝ с дрон. Предимство на този софтуер е по-прецизното проектиране и онагледяване на разположението на ФВ панели. Освен разглеждането на симулациите в шеста глава е разработен и алгоритъм за внедряване на

батерия към съществуваща ФВ централа, като е изчислен приходът при двата варианта - със и без батерия. Доказано е, че при внедряване на батерия в системата, приходът от нея се увеличава с над 85 %. Авторът препоръчва изборът на конкретен капацитет на батерията да е съобразен с предварителен симулационен модел, който да изработи детайлен товаров график на консумацията на потребителя.

Седмата глава представя резултатите от реално внедрени ФВ системи с хибридни инвертори (с мощности 3,7 kWp, 10,7 kWp и 126,7 kWp) и сравнение на работа със и без батерии.

В заключение използването на ФВ системи с хибридни инвертори допринася значително за намаляване на въглеродния отпечатък, повишаване на енергийната независимост на потребителите и оптимизация на електроенергийната инфраструктура. Локалното производство на енергия, съчетано с интелигентно управление и съхранение, представлява устойчива алтернатива на традиционните енергийни модели и е ключов фактор за бъдещето на децентрализираната енергетика.

## **Група Г7. Научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация**

1. **V. Milenov**, I. Bachev and Z. Zarkov, "Performance of Foldable Photovoltaic Panels in Real Conditions," 2025 19th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), Sofia, Bulgaria, 2025, pp. 1-5, doi: 10.1109/ELMA65795.2025.11083426 (SCOPUS)

В настоящата статия е реализирано изследване на системи за захранване на маломощни консуматори чрез сгъваеми фотоволтаични панели, свързани към преносими зарядни станции с малък капацитет. Тази иновативна технология предлага ефективно решение за захранване на устройства без достъп до електропреносната мрежа. Сгъваемите фотоволтаични панели могат да бъдат бързо разпънати и въведени в експлоатация, осигурявайки незабавни решения за захранване при необходимост. Компактният им дизайн позволява лесно съхранение и транспортиране, което ги прави универсален избор за различни приложения. Представени са волт-амперните характеристики на сгъваемите ФВ панели при реални експлоатационни условия. Измервания са проведени както при параметри, максимално доближени до стандартните тестови условия, така и при по-крайни условия. Анализирани са влиянието на засенчването върху електрическите им показатели.

**Научно-приложни приноси:** Експериментирането в различни реални условия (слънчева радиация и температура) спомагат за бъдещето моделиране и подобряване на

този тип ФВ панели. Резултатите ясно показват, че дори минимално засенчване (например върху една единствена клетка) може да доведе до значително намаляване на изходната мощност, което подчертава високата чувствителност на тези системи към въздействието на околната среда. Направено е сравнение на различни типове засенчвания и се стига до заключението, че правилното им позициониране към слънцето без засенчвания е от съществено значение.

2. **V. Milenov**, "Enhancing Portable Cabin Power Supply with Bifacial PV Panels," 2024 16th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/BulEF63204.2024.10794889. (SCOPUS)

В тази статия е представено автономно решение за захранване на малки обекти тип „къщичка/бунгало“ чрез двулицеви фотоволтаични панели като алтернатива на дизеловите генератори. В конкретния случай ФВ система се използва за захранване на рекламното бунгало. То служи като представителен пример за мобилни обекти, които се разполагат на различни локации както в страната, така и в чужбина. За разработване на симулационен модел и анализ на резултатите е използван софтуерът PVsyst. Извършен е подробен преглед на конструкцията и компонентите на автономната ФВ система. Изследван е и потенциалът за мащабируемост и интеграция със съществуваща инфраструктура.

**Научно-приложни приноси:** Софтуерните симулации показват добро енергийно производство на ФВ системата при различни метеорологични условия, което доказва, че захранването с ФВ системи на малки обекти, които не са свързани към мрежата, е напълно адекватно и приложимо. Проучването подчертава ефективността и екологичните предимства на такъв тип захранване спрямо традиционните дизелови генератори - липса на шум и вредни емисии.

**Приложни приноси:** На база симулационните изследвания и реалната работа на системата се доказва, че използването на двулицеви ФВ панели в конкретния случай увеличава произведената енергия спрямо традиционните еднолицеви панели.

3. **M. Mitova and V. Milenov**, "Advancements in Photovoltaic Panel Recycling: Processes and Challenges," 2024 16th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/BulEF63204.2024.10794945. (SCOPUS)

Статията е посветена на изследване и анализ на европейското законодателство, свързано с управлението и третирането на отпадъци от електрическо и електронно оборудване, включително фотоволтаични панели. Това изследване очертава настоящите цели и изисквания в тази област. Представени са най-големите ФВ паркове в България. Направена е прогнозна оценка за предстоящия брой ФВ панели в държавите от ЕС до 2027 г. Представено е и прогнозно състояние относно генерирането на отпадъци от ФВ

панели до 2050 г. Описани са структурите на най-широко използваните фотоволтаични панели (кристална технология), както и по-рядко използваната тънкослойна технология от кадмиев телурид. Разгледани са основните методи за тяхното рециклиране, като са обсъдени предимствата на всеки от тях.

**Научно-приложни приноси:** Предложен е подход за рециклиране на големи ФВ централи, насочен към ефективно оползотворяване на панелите и намаляване на разходите за тази дейност. Създадена е карта с кратка информация и обозначение на поголемите ФВ централи в България. Създаден е QR код за достъп до картата, който позволява бързо отваряне на местоположението на ФВ парковете чрез телефон, таблет или лаптоп.

4. **V. Milenov** and Z. Zarkov, "Assessing Battery Storage Feasibility for a 30 kW PV Power Plant in the Bulgarian Electricity Market," 2024 16th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/BulEF63204.2024.10794936. (SCOPUS)

Статията разглежда енергийните потоци от фотоволтаична система с мощност 30 kWp, комбинирана с батерия с капацитет 30 kWh. Почасово е представена произведената енергия от фотоволтаичната система, както и колебанията на пазарните цени на електроенергията в България. Разгледани са различните типове батерии, използвани за малки централи. Представени са различни стратегии за внедряване на батерия към съществуваща ФВ система. Разработен е модел за изчисляване на енергийните потоци между ФВ система, батерия и мрежа. Моделът включва също енергийните цени и изчисляване на финансовите приходи. Статията описва годишното електропроизводство на системата и съответните вариации в цените на електроенергията. В изследването са включени графики, сравняващи приходите със и без използване на батерия, за месец и година.

**Научни приноси:** Разработен е оптимизационен алгоритъм за определяне на най-благоприятните моменти за подаване на енергия от батерията към мрежата. Създаден е метод за сравнение на финансовите приходи при ФВ централи със и без батерия, приложим при различни конфигурации. Показан е потенциалът за увеличаване на приходите при интегриране на батерия към ФВ система.

**Научно-приложни приноси:** Разработена е стратегия за отдаване на енергия от батерията към мрежата в периода с най-високи цени на борсата. Доказано е, че използването на батерия увеличава значително прихода от ФВ системи, свързани към електрическата мрежа с цел продажба на произведената енергия.

5. L. Stoyanov, Z. Zarkov, **V. Milenov**, I. Bachev and V. Lazarov, "Experimental Study Of Photovoltaic Panels' Degradation and Technology Evolution," 2024 9th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), Ruse, Bulgaria, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/EEAE60309.2024.10600605. (SCOPUS)

Статията разглежда изследване на деградацията на работните характеристики на фотоволтаичните панели през годините на експлоатация, което е от съществено значение за собствениците на ФВ инсталации с различен мащаб и разположение – както в градска, така и в извънградска среда. Анализирани са панели, произведени по пет различни технологии, два вида кристален силиций (моно- и поликристален) и три вида тънкослойни технологии (микростриктен силиций, CIGS и CdTe), като за целта са използвани експериментални данни от пет мрежово свързани фотоволтаични системи, инсталирани в София, България. Данните обхващат десетгодишен период на работа при континентален климат и разнообразни метеорологични условия. Получените резултати позволяват формулирането на по-информиран избор на подходяща панелна технология в процеса на проектиране и оразмеряване на ФВ системи. Накрая е представено кратко сравнение на експлоатационните показатели на различни поколения фотоволтаични панели.

**Научни приноси:** Установено е, че при кристалните технологии наблюдаваната деградация е по-малка в сравнение с тази при тънкослойните панели. При всички панели на основата на силиций темпът на деградация нараства с времето, докато при CIGS и CdTe степента на деградация е по-значителна в началото на експлоатационния период, след което темпът ѝ намалява.

**Научно-приложни приноси:** Реализирани са редица експериментални изследвания на ФВ панели с цел проследяване на тяхната ефективност за дълг период от време. Натрупана е голяма база експериментални данни, които биха били от полза за подобряване на моделирането на ФВ панели. Анализът показва, че при постоянна слънчева радиация влиянието на температурата върху изходната мощност намалява с напредването на деградацията на панелите. Извършено е сравнение на номиналните експлоатационни характеристики на ФВ панели по кристална технология от различни поколения, налични в Лабораторията по възобновяема енергия (Електрически аспекти) в Електротехническият факултет към Технически университет София. За периода от последните 11 години при монокристалните панели е отчетено подобрение от около 40 %, докато при поликристалните панели подобрението достига 96 % за интервал от 27 години и приблизително 25 % през последното десетилетие.

6. **V. Milenov** and Z. Zarkov, "Application of Hybrid Inverters in Photovoltaic Systems," 2023 18th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), Varna, Bulgaria, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ELMA58392.2023.10202452. (SCOPUS)

В статията акцентът е поставен върху хибридните соларни инвертори, тяхната специфика, принцип на работа и предимства. По-подробно е разгледано приложението на хибридни инвертори във фотоволтаични системи за собствено потребление, като са представени и примерни случаи (case studies) на подобни системи. Показана е блокова диаграма, демонстрираща начина на свързване на хибриден инвертор към електроразпределителната мрежа, консуматори и батерия. Разгледани са различните режими на работа на хибридните инвертори. Показани са стратегии за управление на запасяващите устройства от хибридният инвертор. Разгледана е мониторинговата

платформа на хибридни инвертор чрез реален пример на мобилно приложение. Подробно са обсъдени предимствата и недостатъците на хибридните инвертори.

**Научно-приложни приноси:** Разработени са математически и симулационни модели, които позволяват прецизно изчисляване на всички мощности и енергийни потоци във фотоволтаичната система с хибриден инвертор — както със, така и без акумулаторна батерия, както и в системи с износ на енергия към мрежата или с ограничаване на износа на енергия към мрежата. Моделът дава възможност за точно оразмеряване на капацитета на батерията, отчитайки специфичния товаров профил на потребителя, характеристиките на фотоволтаичните панели и наличните метеорологични данни. Доказано е, че използването на фотоволтаични системи с хибридни инвертори за захранване на индустриални обекти значително намалява тяхното потребление на електроенергия от мрежата и повишава тяхната енергийна независимост.

7. **V. Milenov** and Z. Zarkov, "Modeling of Photovoltaic Systems for Self-Consumption," 2023 15th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/BulEF59783.2023.10406197. (SCOPUS)

В статията е представен подход за моделиране на работата и експлоатационните характеристики на фотоволтаични системи, предназначени за производство на електроенергия за собствено потребление. С бързото развитие на технологиите за соларна енергия използването на подобни системи нараства значително. Разработеният модел позволява прецизно изчисляване на мощностите и енергийните потоци във фотоволтаични системи за собствено потребление. Анализирани са различни конфигурации: със и без присъединяване към електроразпределителната мрежа, със и без система за съхранение на енергия, както и със и без ограничения за износа на енергия. Направена е блокова диаграма на фотоволтаична система за собствена консумация. Представени са предимствата на използването на батерия в системите за собствена консумация.

**Научни приноси:** Разработеният модел дава възможност за оптимизация на стратегията за използване на батерията, адаптиране на товаровия профил към производството на ФВ панелите, определяне на необходимия капацитет на батерията, както и за оптимизация на ФВ система като цяло.

**Научно-приложни приноси:** Проведеното изследване доказва, че определянето на точен почасов товаров профил е от ключово значение за прецизността на изчисленията и получените резултати. Анализът на резултатите от проведеното изследване дава основание да се изгради хипотезата, че при използването на батерия неусвоената енергия представлява само 7,4 % от общо произведената слънчева енергия за годината. Това означава, че почти цялата налична слънчева енергия се трансформира в електроенергия, налична за оползотворяване от жилищната сграда. Това именно представлява основната парадигма за използване на фотоволтаични системи за собствено потребление.

8. Z. Zarkov and V. **Milenov**, "Study of PV System for Electricity Production for Self-Consumption," *2022 14th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF)*, Varna, Bulgaria, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/BulEF56479.2022.10021163

В статията са представени мрежово свързани фотоволтаични системи, предназначени за производство на електроенергия за собствено потребление. Разгледани са два случая (case studies) на фотоволтаични системи за собствено потребление — без и със система за съхранение на енергия. Разработен е компютърен симулационен модел в средата на Excel. В него е внедрена и стратегия за управление на батерията. Представените резултати показват обмена на мощности в системите с времева стъпка от 1 час. Реализиран е годишен енергиен баланс. Направено е и сравнение на експлоатационните характеристики на системата при използване на две батерии с различен капацитет. Реализиран е сравнителен анализ на различните варианти, под формата на кръгови диаграми.

**Научни приноси:** Направена е класификация според начина на използване на системата за съхранение и начина на взаимодействие с електрическата мрежа. Създаден е математически модел за изчисляване на мощността на фотоволтаична система, като са отчетени ориентацията на панелите и влиянието на температурата на клетките.

**Приложни приноси:** Системата за съхранение на енергия увеличава дела на собственото потребление на слънчева енергия. Въпреки все още високите цени на батериите тази конфигурация може да бъде особено полезна в съвременните условия на много високи цени на електроенергията. Разработеният математически модел позволява прецизно оразмеряване на капацитета на батерията в зависимост от специфичните характеристики на товара. Доказано е, че използването на енергия от ФВ система за собствено потребление намалява зависимостта от електроразпределителната мрежа.

9. Z. Zarkov and V. **Milenov**, "DC-DC Converter for Adaptation of Thin-Film PV Panel I-V Characteristics for Microinverter," *2022 International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES)*, Veliko Tarnovo, Bulgaria, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/CIEES55704.2022.9990886. (SCOPUS)

В статията акцентът е поставен върху моделирането на DC-DC преобразувател за свързване на тънкослоен фотоволтаичен панел към микроинвертор. Представено е разработването на симулационен модел на фотоволтаична система, състояща се от тънкослоен ФВ панел, специализиран DC-DC преобразувател и микроинвертор с MPPT алгоритъм. Основната идея на разработката е въвеждането на DC-DC преобразувател между един или два фотоволтаични панела и микроинвертор, който да адаптира волт-амперната характеристика на панелите към входните изисквания на инвертора. Показани са реализираните модели на отделните елементи, както и цялостния модел в среда на Matlab Simulink. За нуждите на MPPT контролера е избран методът на инкременталната проводимост (incremental conductance).

**Научни приноси:** Създаден е компютърен модел на DC–DC преобразувател. Получените волт–амперни характеристики потвърждават правилната му работа. Резултатите показват, че изходните му характеристики коректно възпроизвеждат тези на свързания фотоволтаичен панел, но при различни стойности на напрежение и ток, като същевременно се запазва еквивалентната изходна мощност.

**Научно-приложни приноси:** Реализирани са модели на основните компоненти на една ФВ система в среда на Simulink. Преобразувателят дава възможност да бъдат свързвани различен тип ФВ панели към инвертор с различно входно напрежение. Възможността за работа съвместно с инвертор, използващ MPPT алгоритъм, е демонстрирана чрез симулации с изкуствено генерирани и реални последователности от данни за слънчевата радиация.

**Приложни приноси:** Пълният модел дава възможност чрез експерименти да се изследват статичните характеристики и динамичното поведение на цялата система при променлива слънчева радиация и температура на клетките за сравнително дълги периоди от време.

10. R. Spasov, E. Rachev, V. Petrov and **V. Milenov**, "Determining the Equivalent Circuit Parameters of Three-Phase Induction Motor from the Manufacturer's Technical Data," 2022 14th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/BulEF56479.2022.10021178. (SCOPUS)

Статията има за цел да направи сравнителен анализ на характеристиките, дадени от производител на асинхронни двигатели, с тези, получени в симулационен модел, изработен в Matlab Simulink. В процеса на верификация на производствените показатели са моделирани различни изпитвания на двигателя: изпитване с постоянен ток за идентифициране на съпротивлението на статора, изпитване на празен ход, късо съединение, както и симулация на работа под товар. Моделът е изграден върху еквивалентната схема на двигателя, като неговите параметри се определят по методологията, предложена в настоящата работа.

**Научно-приложни приноси:** Създаден е адекватен модел на двигателя в средата MATLAB/Simulink, който изчислява параметрите на еквивалентната схема на двигателя. Реализираният модел може да се използва за оценяване на редица параметри на двигателя.

11. Z. Zarkov and **V. Milenov**, "Modeling and research of photovoltaic system with microinverter," 2021 13th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/BulEF53491.2021.9690817. (SCOPUS).

Статията представя теоретично и експериментално изследване на фотоволтаична система, свързана към електрическата мрежа посредством микроинвертор. Получените модели се използват за изчисляване на произведената мощност от малка фотоволтаична система. Като входни данни се използват стойностите на слънчевата радиация в равнината на панела и температурата на околната среда. Целият модел е разработен в

софтуерната среда Matlab. Произвежданата от системата мощност за продължителен период от време е регистрирана чрез специализиран анализатор на електрическа енергия. Представени са реални данни за работата на системата при различни стойности на слънчева радиация, получени чрез мониторинг портала Aurora Vision. Мониторинговата система позволява натрупването на обширна база експериментални данни и по този начин осигурява сравнение на производството при различни метеорологични условия — през зимата и през лятото.

**Научни приноси:** Разработен е математически модел за ефективността на фотоволтаичен модул, базиран на теоретично изчислените волт–амперни (I–V) характеристики на панела.

**Научно-приложни приноси:** Създаден е математичен модел на ефективността на еднофазен микроинвертор чрез апроксимация с дробно-рационална функция. Реализирана е голяма база експериментални данни, която би била полезна за подобряване на моделирането на такъв тип системи.

12. E. Rachev, V. Milenov and V. Petrov, "Using induction motor models for e-learning," 2021 13th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/BulEF53491.2021.9690807. (SCOPUS)

В статията е разгледан модел на еднофазен асинхронен двигател, подходящ както за дистанционно обучение на студенти по електрически машини и електрозадвижване, така и за анализ на двигателя с цел определяне на оптимални конструктивни параметри. При еднофазните асинхронни двигатели е необходимо да се постигне баланс между пусковите и работните характеристики, особено в случаите, когато се използва само един работен кондензатор. Предложеният модел позволява определянето на оптималния капацитет на работния кондензатор, така че да бъдат постигнати изискуемите експлоатационни характеристики.

**Научно-приложни приноси:** Създаден е модел на асинхронен двигател в среда Matlab/Simulink. Реализиран е метод за оптимално определяне на капацитета на работния кондензатор. Създаденият симулационен модел кореспондира с реалните данни от лабораторното упражнение, което студентите изпълняват в университета. По този начин се цели осигуряване на максимална близост между симулираната и реалната работа в лабораторна среда.

**Приложни приноси:** В статията се предлага стратегия, при която вниманието на студентите се измества от свързването на схемата и графичното представяне на работните характеристики на двигателя към изследването на влиянието на капацитета на работния кондензатор, който при лабораторното упражнение е фиксиран. Това позволява използването на веб-базирано приложение така че студентите да не се нуждаят от локално инсталиран Matlab.

13. **V. Milenov**, I. Bachev, L. Stoyanov, Z. Zarkov and V. Lazarov, "Indoor testing of solar panels," 2020 12th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/BulEF51036.2020.9326084. (SCOPUS)

В настоящата статия се представя експериментално изследване на различни видове фотоволтаични панели в лабораторни условия. Експериментите са проведени чрез лабораторен стенд за изследване на фотоволтаични панели, реализиран в лабораторията „Енергия от възобновяеми енергийни източници (електрически аспекти)“ към Технически университет София. Извършена е серия от експерименти при различни условия на тестване – вариране на осветеността, температурата, разстоянието между фотоволтаичния панел и източника на светлина, както и използване на различни типове захранване за халогенните лампи. В рамките на проведеното изследване са тествани пет различни фотоволтаични панела — монокристален силиций (mSi), поликристален силиций (pSi), аморфен силиций (aSi), мед-индий-галиев диселенид (CIGS) и кадмиев телурид (CdTe). Получените резултати демонстрират възможностите на лабораторното оборудване и очертават насоки за бъдещи изследвания.

**Научно-приложни приноси:** Установено е, че захранването с променлив ток на халогенните лампи в соларния симулатор води до пулсации на светлинния поток. Това от своя страна предизвиква пулсации на тока на късо съединение на панелите и води до деформации на волт–амперните характеристики. Решение на този проблем е използването на захранване с постоянен ток за соларния симулатор. Установено е, че при използване на халогенни лампи за симулиране на слънчева светлина се наблюдава неравномерност на светлинния поток, падащ върху фотоволтаичните панели, което води до деформация на измерените волт–амперни характеристики. Проведените експериментални изследвания са добра база за подобряване на използвания симулатор, като се промени захранващото напрежение от променливо на постоянно-токово, както и изследване с друг тип лампи. Студентите използват слънчевия симулатор за провеждане на упражнения в лабораторията.

14. Z. Zarkov, V. Milenov, I. Bachev and B. Demirkov, "Grid connected PV systems with single-phase inverter," 2019 11th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030797. (SCOPUS)

Статията представя анализ на фотоволтаична система, свързана към електрическата мрежа. Системата е съставена от: стринг от фотоволтаични панели, еднофазен транзисторен инвертор, LC - филтър и нискочестотен трансформатор, свързан към мрежата. Системата се управлява с алгоритъм за следене на точката на максимална мощност (Maximum Power Point Tracking, MPPT) на ФВ стринг. Създаден е подробен симулационен модел на цялата система, включително и алгоритмите за управление. Използваният метод за MPPT е „смущение наблюдение“. Проведено е симулационно изследване при промяна на слънчевата радиация и резултатите показват реалистично поведение на разработения модел на MPPT алгоритъма. Резултатите от симулацията са сравнени с експериментални тестове върху реален фотоволтаичен масив със същите параметри и е установено добро съвпадение.

**Научни приноси:** С помощта на симулации и експерименти е доказано, че изходният ток на инвертора се изкривява не само поради несъвършенствата на инвертора и неговото управление, но и поради несинусоидалното напрежение на мрежата в точката на свързване.

**Научно-приложни приноси:** Разработен е симулационен модел на ФВ система с еднофазен инвертор, свързан към електрическата мрежа. Получени са симулационни резултати, които демонстрират работата на системата и адекватното поведение на MPPT контролера.

15. V. MILENOV, Z. ZARKOV, B. DEMIRKOV and I. BACHEV, "Modeling of Electrical Characteristics of Various PV Panels," 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), Varna, Bulgaria, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ELMA.2019.8771692. (SCOPUS)

Разработен е математически и симулационен модел за изчисляване на волт-амперните характеристики на ФВ панели и ФВ генератори при зададени интензитет на слънчевото лъчение и температура на клетките. Моделът е приложен за ФВ панели от пет различни типа, които са произведени по различни технологии и от различни материали.

**Научни приноси:** Посредством симулационния модел може да се определи к.п.д. на ФВ панели при произволни работни условия (слънчева радиация и температура на клетките) на базата на модела на волт-амперните характеристики.

## **Г8. Научни публикации в нерепубликани списания с научно рецензиране или в редактирани колективни трудове**

16. Миленов, В. А., Томов, П. К., Митова, М. П., Димов, Д. С, Иновационен Европейски Технологичен Университет INNO EUt+, XXXII ISTC Automation of Discrete Production Engineering, issue 5, pp. 143-145, 2023, Bulgaria, Sozopol, ISSN 2682-9584

Целта на статията е да се разгледа подробно дейността на проект ИННО EUt+ и да бъдат представени партньорите по проекта и новият алианс, който е сформиран от 8 европейски университети под наименованието „Европейски технологичен университет“. Представени са получените резултати през първата година от двугодишния период на проекта. Подробно са разгледани извършените дейности по проекта и бъдещите инициативи и дейности. Разгледани са дейностите по укрепване на партньорствата между различните партньори по проекта.

**Приложни приноси:** Реализирани бяха редица обучения на студентите по проекта. Над 200 студенти участваха в различни обучения, като най-добрите имаха възможност да пътуват до различни страни в Европа и да вземат участие в състезания, организирани от университети, участващи в проекта.

## Заклучение

Изследванията в представените трудове може да се обобщят в следните групи:

1. Изследване и анализ на фотоволтаични системи с различни видове соларни инвертори: (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (11), (13), (14), (15).
2. Изследване и анализ в електрически машини: (10), (12).
3. Представяне на извършените дейности по проект: (16).
4. Фотоволтаични системи с хибридни инвертори: (M1).

Приносите имат и образователен аспект, защото при обучението на студентите по дисциплините: „Екология и възобновяеми източници на енергия“, „Възобновяеми енергийни източници и електрически генератори“ за студентите от Електротехническият факултет и „Възобновяеми източници на енергия“ за студентите от Факултета по индустриални технологии се използват образователни похвати и научно-технически постижения дискутирани в монографията и статиите.

**Abstracts of scientific papers and reference of contributions**  
**of Assist. Dr. Eng. Valentin Angelov Milenov**  
**for participation in a competition for the position of Associate Professor in**  
**the professional field 5.2 "Electrical Engineering, Electronics and**  
**Automation", specialty "Electrical Machines", for the needs of the**  
**Department of Electrical Machines and Industrial Electrical Engineering,**  
**Faculty of Electrical Engineering of the Technical University - Sofia,**  
**announced in DV issue 101 of 27.11.2025**

A total of 17 works of the candidate were submitted for participation in the competition, which include:

- Habilitation work – monograph;
- To meet the indicators from Group G, 15 publications indexed in Scopus and 1 publication in non-refereed journals with scientific peer review are presented.

**Group B3. Habilitation thesis – monograph**

M1. **Milenov, V.**, Photovoltaic systems with hybrid inverters

The monographic work is developed in a volume of 146 printed pages and is formatted in seven chapters. It contains 149 graphic images and a bibliography from 150 literary sources.

The first chapter presents general data on the development of renewables and photovoltaic systems around the world. Statistics on installed capacities, trends in energy production and issues related to the recycling of PV panels are considered.

The second chapter analyzes the different technologies for PV cells and modules – from standard crystal cells to innovative solutions such as PERC, back-contact and double-sided panels, and makes a comparative analysis between them. A graph with the historical development of crystalline silicon PV cells after the introduction of PERC technology has been implemented. Particular attention is paid to double-sided PV panels, which are becoming more and more popular and begin to dominate the market at the expense of single-sided panels, due to their excellent characteristics and wide applicability.

The third chapter presents the types and classifications of inverters for PV systems. A classification has been made according to power – central, string, multistring and microinverters; according to their connection to the grid – "On Grid" and inverter type "Battery ready".

Basically, PV inverters are divided into three types:

- with a network connection;
- without a network connection;
- Hybrid inverter.

The fourth chapter is dedicated to hybrid inverters. A modern classification of these devices has been made, and different types have been described (off-grid with AC charger, all-in-one, inverters with DC-only optimizers). Various strategies for managing hybrid inverters are analysed – priority self-consumption, backup power, load balancing, operation in island mode and others. Choosing the right strategy is essential for the efficiency and reliability of battery PV systems, proving that adaptation to specific operating conditions is key to achieving optimal results. The option of a hybrid inverter with intelligent load is considered. An algorithm has been created to turn on the smart load under certain conditions. An overview of the software systems for monitoring and data collection in PV systems with hybrid inverters is made, and real examples of operating systems are shown.

Chapter Five looks at battery energy storage systems. Their structure, functionalities and various configurations are discussed in detail. An analysis of large battery complexes over 2 MWh has been made, examples of cooling systems have been given. In the context of the global energy transformation, the integration of battery energy storage systems into PV installations is critical for the stability of the electricity grid. Especially in large PV parks, batteries play an important role in reducing fluctuations and ensuring a reliable supply of electricity.

The sixth chapter describes software tools for simulation of PV systems and specific simulation studies (e.g. on a small system (2.76 kWp) with SolarEdge). Another simulation study described in this chapter is based on the SketchUp/Skelion software, which implements 3D models of the building of the 12th educational block after it is filmed with a drone. The advantage of this software is the more precise design and visualization of the placement of PV panels. In addition to the consideration of the simulations in Chapter Six, an algorithm for deploying a battery to an existing PV plant has been developed, and the revenue for both options - with and without a battery - has been calculated. It has been proven that when a battery is implemented in the system, the revenue from it increases by more than 85 %. The author recommends that the choice of a specific battery capacity be consistent with a preliminary simulation model that will develop a detailed load schedule of the user's consumption.

The seventh chapter presents the results of actually implemented PV systems with hybrid inverters (with capacities of 3.7 kWp, 10.7 kWp and 126.7 kWp) and a comparison of operation with and without batteries.

In conclusion, the use of PV systems with hybrid inverters contributes significantly to reducing the carbon footprint, increasing the energy independence of consumers and optimising the electricity infrastructure. Local energy production, combined with smart management and storage, represents a sustainable alternative to traditional energy models and is a key enabler for the future of decentralized energy.

## **Group G7. Scientific publications in journals that are referenced and indexed in world-renowned databases with scientific information (Scopus)**

1. **V. Milenov**, I. Bachev and Z. Zarkov, "Performance of Foldable Photovoltaic Panels in Real Conditions," 2025 19th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), Sofia, Bulgaria, 2025, pp. 1-5, doi: 10.1109/ELMA65795.2025.11083426 **(SCOPUS)**

In this article, a study of power supply systems for low-power consumers through folding photovoltaic panels connected to portable charging stations with a small capacity is carried out. This innovative technology offers an efficient solution for powering devices without access to the power grid. Folding PV panels can be quickly deployed and commissioned, providing instant power solutions when needed. Their compact design allows for easy storage and transportation, making them a versatile choice for a variety of applications. The volt-ampere characteristics of folding PV panels under real operating conditions are presented. Measurements were carried out both under parameters as close as possible to the standard test conditions, and under more extreme conditions. The influence of shading on their electrical performance is analysed.

**Scientific and applied contributions:** Experimentation in different real-world conditions (solar radiation and temperature) contributes to the future modeling and improvement of this type of PV panels. The results clearly show that even minimal shading (e.g. on a single cell) can lead to a significant reduction in power output, which highlights the high sensitivity of these systems to environmental influences. concludes that their correct positioning to the sun without shading is essential.

2. **V. Milenov**, "Enhancing Portable Cabin Power Supply with Bifacial PV Panels," 2024 16th Electrical Engineering Faculty Conference (Bulef), Varna, Bulgaria, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/Bulef63204.2024.10794889. **(SCOPUS)**

This article presents an autonomous solution for powering small "cottage/bungalow" objects through double-sided photovoltaic panels as an alternative to diesel generators. In this case, a PV system is used to power an advertising bungalow. It serves as a representative example of mobile sites that are located in different locations both in the country and abroad. To develop a simulation model and analyze the results, the PVsyst software was used. A detailed review of the design and components of the autonomous PV system was carried out. The potential for scalability and integration with existing infrastructure is also explored.

**Scientific and applied contributions:** Software simulations show good energy production of the PV system under different weather conditions, which proves that the power supply of PV systems to small sites that are not connected to the grid is completely adequate and applicable. The study highlights the efficiency and environmental advantages of this type of power supply compared to traditional diesel generators - no noise and harmful emissions.

**Applied contributions:** Based on the simulation studies and the actual operation of the system, it is proven that the use of double-sided PV panels in this particular case increases the energy produced compared to traditional single-sided panels.

3. M. Mitova and V. Milenov, "Advancements in Photovoltaic Panel Recycling: Processes and Challenges," 2024 16th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/BulEF63204.2024.10794945. (SCOPUS)

The article is devoted to the study and analysis of European legislation related to the management and treatment of waste electrical and electronic equipment, including photovoltaic panels. This study outlines the current objectives and requirements in this area. The largest PV parks in Bulgaria are presented. An estimated estimate is made for the upcoming number of PV panels in the EU countries until 2027, and a forecast status on the generation of waste from PV panels until 2050 is presented, the structures of the most widely used photovoltaic panels (crystal technology), as well as the less commonly used thin-film technology of cadmium tellurite. The main methods of their recycling are considered, and the advantages of each of them are discussed.

**Scientific and applied contributions:** An approach for recycling of large PV plants has been proposed, aimed at efficient utilization of the panels and reducing the costs of this activity. A map has been created with brief information and designation of the larger PV plants in Bulgaria. A QR code has been created for access to the map, which allows quick opening of the location of PV parks by phone, tablet or laptop.

4. V. Milenov and Z. Zarkov, "Assessing Battery Storage Feasibility for a 30 kW PV Power Plant in the Bulgarian Electricity Market," 2024 16th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/BulEF63204.2024.10794936. (SCOPUS)

The article examines the energy flows from a photovoltaic system with a capacity of 30 kWp, combined with a battery with a capacity of 30 kWh. The hourly energy produced by the photovoltaic system is presented, as well as the fluctuations in the market prices of electricity in Bulgaria. The different types of batteries used for small plants are considered. Various strategies for implementing a battery to an existing PV system are presented. PV system, battery and network. The model also includes energy prices and the calculation of financial revenues. The article describes the system's annual electricity production and the corresponding variations in electricity prices. The study includes graphs comparing revenue with and without battery usage, for a month and a year.

**Scientific contributions:** An optimization algorithm has been developed to determine the most favorable moments for energy supply from the battery to the grid. A method for comparing the financial revenues of a PV plant with and without a battery, applicable in different configurations, has been developed. The potential for increasing revenues when integrating a battery into a PV system has been shown.

**Scientific and applied contributions:** A strategy has been developed for the release of energy from the battery to the grid during the period with the highest prices on the stock exchange. It has been proven that the use of a battery significantly increases the income from PV systems connected to the electricity grid in order to sell the energy produced.

5. L. Stoyanov, Z. Zarkov, **V. Milenov**, I. Bachev and V. Lazarov, "Experimental Study Of Photovoltaic Panels' Degradation and Technology Evolution," 2024 9th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), Ruse, Bulgaria, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/EEAE60309.2024.10600605. (SCOPUS)

The article examines a study of the degradation of the performance of photovoltaic panels over the years of operation, which is essential for owners of PV installations of different scales and locations – both in urban and non-urban environments. Panels produced by five different technologies, two types of crystalline silicon (mono- and polycrystalline) and three types of thin-film technologies (microcrystalline silicon, CIGS and CdTe) were analyzed, using experimental data from five grid-connected photovoltaic systems installed in Sofia, Bulgaria. The data cover a ten-year period of operation in continental climates and a variety of weather conditions. The results obtained allow the formulation of a more informed choice of appropriate panel technology in the process of design and sizing of PV systems. Finally, a brief comparison of the performance of different generations of photovoltaic panels is presented.

**Scientific contributions:** It has been found that in crystalline technologies the observed degradation is less than in thin-film panels. For all silicon-based panels, the rate of degradation increases over time, while for CIGS and CdTe, the rate of degradation is more significant at the beginning of the service life, after which the rate decreases.

**Scientific and applied contributions:** A number of experimental studies of PV panels have been carried out in order to track their efficiency over a long period of time. A large database of experimental data has been accumulated, which would be useful for improving the modeling of PV panels. The analysis shows that with constant solar radiation, the influence of temperature on the output power decreases with the progression of the degradation of the panels. characteristics of PV panels using crystal technology of different generations, available in the Laboratory of Renewable Energy (Electrical Aspects) at the Faculty of Electrical Engineering at the Technical University of Sofia. Over the past 11 years, monocrystalline panels have improved by around 40%, while polycrystalline panels have improved by 96% over an interval of 27 years and approximately 25% over the past decade.

6. **V. Milenov** and Z. Zarkov, "Application of Hybrid Inverters in Photovoltaic Systems," 2023 18th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), Varna, Bulgaria, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ELMA58392.2023.10202452. (SCOPUS)

In the article, the emphasis is placed on hybrid solar inverters, their specifics, principle of operation and advantages. The application of hybrid inverters in photovoltaic systems for self-consumption is discussed in more detail, and case studies of such systems are also presented. A block diagram demonstrating how to connect a hybrid inverter to the power distribution network, consumers and battery is shown. The different modes of operation of hybrid inverters are considered. Strategies for managing storage devices from the hybrid inverter are shown. The monitoring platform of the hybrid inverter is examined through a real example of a mobile application. The advantages and disadvantages of hybrid inverters are discussed in detail.

**Scientific and applied contributions:** Mathematical and simulation models have been developed that allow precise calculation of all capacities and energy flows in the photovoltaic system with a hybrid inverter, both with and without a battery, as well as in systems with energy export to the grid or with limiting energy exports to the grid. The model allows for accurate dimensionation of the battery capacity, taking into account the specific load profile of the user, the characteristics of the photovoltaic panels and the available weather data. It has been proven that the use of photovoltaic systems with hybrid inverters to power industrial sites significantly reduces their electricity consumption from the grid and increases their energy independence.

7. **V. Milenov** and Z. Zarkov, "Modeling of Photovoltaic Systems for Self-Consumption," 2023 15th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/BulEF59783.2023.10406197. (SCOPUS)

The article presents an approach to modeling the operation and operational characteristics of photovoltaic systems intended for the production of electricity for self-consumption. With the rapid development of solar energy technologies, the use of such systems is growing significantly. The developed model allows for precise calculation of capacities and energy flows in photovoltaic systems for self-consumption. Different configurations were analyzed: with and without connection to the electricity distribution network, with and without an energy storage system, as well as with and without restrictions on energy exports. A block diagram of a photovoltaic system for self-consumption has been made. The advantages of using a battery in self-consumption systems are presented.

**Scientific contributions:** The developed model allows for optimization of the battery utilization strategy, adaptation of the load profile to the production of PV panels, determination of the required battery capacity, as well as optimization of the PV system as a whole.

**Scientific and applied contributions:** The study proves that determining an accurate hourly load profile is key to the accuracy of the calculations and the results obtained. The analysis of the results of the study gives grounds to build the hypothesis that when using a battery, unused energy accounts for only 7.4% of the total solar energy produced for the year, which means that almost all available solar energy is transformed into electricity available for recovery from the residential building. This is precisely the main paradigm for the use of photovoltaic systems for self-consumption.

8. Z. Zarkov and V. Milenov, "Study of PV System for Electricity Production for Self-Consumption," *2022 14th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF)*, Varna, Bulgaria, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/BulEF56479.2022.10021163

The article presents grid-connected photovoltaic systems designed for the production of electricity for self-consumption. Two case studies of photovoltaic systems for self-consumption – without and with an energy storage system are examined. A computer simulation model has been developed in the Excel environment. A battery management strategy is also implemented in it. The presented results show the exchange of power in the systems with a time interval of 1 hour. An annual energy balance has been realized. A comparison of the performance characteristics of the system when using two batteries with different capacities is also made. A comparative analysis of the different options has been carried out, in the form of pie charts.

**Scientific contributions:** A classification has been made according to the way the storage system is used and the way it interacts with the power grid. A mathematical model for calculating the power of a photovoltaic system has been created, taking into account the orientation of the panels and the influence of cell temperature.

**Applied contributions:** The energy storage system increases the share of self-consumption of solar energy. Despite the still high battery prices, this configuration can be especially useful in today's conditions of very high electricity prices. that the use of energy from a PV system for self-consumption reduces dependence on the electricity distribution network.

9. Z. Zarkov and V. Milenov, "DC-DC Converter for Adaptation of Thin-Film PV Panel I-V Characteristics for Microinverter," *2022 International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES)*, Veliko Tarnovo, Bulgaria, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/CIEES55704.2022.9990886. (SCOPUS)

In the article, the emphasis is placed on modeling a DC-DC converter for connecting a thin-layer photovoltaic panel to a microinverter. The development of a simulation model of a photovoltaic system, consisting of a thin-layer PV panel, a specialized DC-DC converter and a microinverter with an MPPT algorithm, is presented. The main idea of the development is the introduction of a DC-DC converter between one or two photovoltaic panels and a microinverter to adapt the volt-ampere characteristic of the panels to the input requirements of the inverter. The implemented models of the individual elements are shown, as well as the overall model in a Matlab Simulink environment. For the needs of the MPPT controller, the method of incremental conductance has been chosen.

**Scientific contributions:** A computer model of a DC-DC converter has been created. The obtained volt-ampere characteristics confirm its correct operation. The results show that its output characteristics correctly reproduce those of the connected photovoltaic panel, but at different voltage and current values, while maintaining the equivalent output power.

**Scientific and applied contributions:** Models of the main components of a PV system have been implemented in a Simulink environment. The converter makes it possible to connect different types of PV panels to an inverter with different input voltages. The possibility of working together with an inverter using the MPPT algorithm has been demonstrated through simulations with artificially generated and real sequences of solar radiation data.

**Applied contributions:** The complete model makes it possible to investigate through experiments the static characteristics and dynamic behavior of the entire system under variable solar radiation and cell temperature over relatively long periods of time.

10. R. Spasov, E. Rachev, V. Petrov and **V. Milenov**, "Determining the Equivalent Circuit Parameters of Three-Phase Induction Motor from the Manufacturer's Technical Data," 2022 14th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/BulEF56479.2022.10021178. (SCOPUS)

The article aims to make a comparative analysis of the characteristics given by a manufacturer of induction motors with those obtained in a simulation model made in Matlab Simulink. In the process of verifying production performance, various motor tests have been modeled: DC testing to identify stator resistance, idle speed, short circuit testing, as well as simulation of operation under load. The model is built on the equivalent engine circuit, and its parameters are determined according to the methodology proposed in this work.

**Scientific and applied contributions:** An adequate engine model has been created in the MATLAB/Simulink environment, which calculates the parameters of the equivalent engine circuit. The implemented model can be used to evaluate a number of engine parameters.

11. Z. Zarkov and **V. Milenov**, "Modeling and research of photovoltaic system with microinverter," 2021 13th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/BulEF53491.2021.9690817. (SCOPUS).

The article presents a theoretical and experimental study of a photovoltaic system connected to the power grid by means of a microinverter. The resulting models are used to calculate the power produced by a small photovoltaic system. The values of solar radiation in the plane of the panel and the ambient temperature are used as inputs. The entire model was developed in the Matlab software environment. The power produced by the system over a long period of time is recorded through a specialized electricity analyzer. Real data on the operation of the system at different values of solar radiation, obtained through monitoring of the Aurora Vision portal, are presented. The monitoring system allows the accumulation of an extensive database of experimental data and thus provides a comparison of production under different weather conditions, in winter and in summer.

**Scientific contributions:** A mathematical model for the efficiency of a photovoltaic module based on the theoretically calculated volt-ampere (I-V) characteristics of the panel has been developed.

**Scientific and applied contributions:** A mathematical model of the efficiency of a single-phase microinverter by approximation with fractional rational function has been created. A large database of experimental data has been implemented, which would be useful for improving the modeling of this type of systems.

12. E. Rachev, **V. Milenov** and V. Petrov, "Using induction motor models for e-learning," 2021 13th Electrical Engineering Faculty Conference (Bulef), Varna, Bulgaria, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/Bulef53491.2021.9690807. (SCOPUS)

The article discusses a model of a single-phase induction motor, suitable both for distance learning of students in electrical machines and electric drives, and for motor analysis in order to determine optimal design parameters. In single-phase induction motors, it is necessary to achieve a balance between starting and operating characteristics, especially in cases where only one operating capacitor is used. The proposed model allows the optimal capacity of the operating capacitor to be determined so that the required performance characteristics are achieved.

**Scientific and applied contributions:** A model of an induction motor in a Matlab/Simulink environment has been created. A method for optimally determining the capacity of the operating capacitor has been implemented. The created simulation model corresponds to the real data from the laboratory exercise that students perform at the university. In this way, the aim is to ensure maximum proximity between the simulated and the real work in a laboratory environment.

**Applied Contributions:** The article proposes a strategy in which students' attention shifts from connecting the circuit and graphical representation of the performance characteristics of the motor to the study of the influence of the capacity of the working capacitor, which in the laboratory exercise is fixed. This allows the use of a web-based application so that students do not need a locally installed Matlab.

13. **V. Milenov**, I. Bachev, L. Stoyanov, Z. Zarkov and V. Lazarov, "Indoor testing of solar panels," 2020 12th Electrical Engineering Faculty Conference (Bulef), Varna, Bulgaria, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/Bulef51036.2020.9326084. (SCOPUS)

This article presents an experimental study of various types of photovoltaic panels in laboratory conditions. The experiments were conducted through a laboratory test bench for the study of photovoltaic panels, implemented in the laboratory "Energy from Renewable Energy Sources (Electrical Aspects)" at the Technical University of Sofia. A series of experiments were carried out under different testing conditions – varying the illumination, temperature, distance between the photovoltaic panel and the light source, as well as using different types of power supply for the halogen lamps. Within the framework of the study, five different photovoltaic panels were tested: monocrystalline silicon (mSi), polycrystalline silicon (pSi), amorphous silicon (aSi), copper-indium-gallium diselenide (CIGS) and cadmium telluride (CdTe). The

results obtained demonstrate the capabilities of laboratory equipment and outline guidelines for future research.

**Scientific and applied contributions:** It has been found that the AC supply of the halogen lamps in the solar simulator leads to pulsations of the light flux, which in turn causes ripples of the short-circuit current of the panels and leads to deformations of volt-ampere characteristics. that when using halogen lamps to simulate sunlight, there is an unevenness of the light flux falling on the photovoltaic panels, which leads to a deformation of the measured volt–ampere characteristics. The experimental studies carried out are a good basis for improving the simulator used by changing the supply voltage from alternating to direct current, as well as research with another type of lamps. Students use the solar simulator to conduct an exercise in the laboratory.

14. Z. Zarkov, V. Milenov, I. Bachev and B. Demirkov, "Grid connected PV systems with single-phase inverter," 2019 11th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030797. (SCOPUS)

The article presents an analysis of a photovoltaic system connected to the power grid. The system consists of: a string of photovoltaic panels, a single-phase transistor inverter, an LC filter and a low-frequency transformer connected to the grid. The system is controlled by an algorithm for monitoring the maximum power point (Max Power Point Tracking, RPT) on a PV string. A detailed simulation model of the entire system, including the control algorithms, has been created. The method used for the MRT is 'interference observation'. A simulation study of changes in solar radiation has been carried out and the results show realistic behavior of the developed model of the MRRT algorithm. The results of the simulation were compared with experimental tests on a real photovoltaic array with the same parameters and a good match was established.

**Scientific contributions:** With the help of simulations and experiments, it has been proven that the output current of the inverter is distorted not only due to the imperfections of the inverter and its control, but also due to the non-sinusoidal voltage of the grid at the connection point.

**Scientific and applied contributions:** A simulation model of a PV system with a single-phase inverter connected to the power grid has been developed. Simulation results have been obtained that demonstrate the operation of the system and the adequate behavior of the MPPT controller.

15. V. MILENOV, Z. ZARKOV, B. DEMIRKOV and I. BACHEV, "Modeling of Electrical Characteristics of Various PV Panels," 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), Varna, Bulgaria, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ELMA.2019.8771692. (SCOPUS)

A mathematical and simulation model has been developed for calculating the volt-ampere characteristics of PV panels and PV generators at set solar radiation intensity and cell

temperature. The model is applied to PV panels of five different types, which are manufactured using different technologies and materials.

**Scientific contributions:** Through the simulation model, it is possible to determine the efficiency of PV panels under random operating conditions (solar radiation and cell temperature) based on the model of volt-ampere characteristics.

## **G8. Scientific publications in non-refereed peer-reviewed journals or in edited collective papers**

16. **Milenov, V. A.**, Tomov, P. K., Mitova, M. P., Dimov, D. S., Innovative European University of Technology INNO EUt+, XXXII ISTC Automation of Discrete Production Engineering, issue 5, pp. 143-145, 2023, Bulgaria, Sozopol, ISSN 2682-9584

The purpose of the article is to examine in detail the activities of the INNO EUt+ project and to present the project partners and the new alliance, which is formed by 8 European universities under the name "European University of Technology". The results obtained during the first year of the two-year project period are presented. The activities carried out under the project and future initiatives and activities are discussed in detail. The activities to strengthen the partnerships between the different project partners are considered.

**Applied contributions:** A number of trainings were carried out for the students of the project. Over 200 students participated in various trainings, and the best had the opportunity to travel to different countries in Europe and take part in competitions organized by universities participating in the project.

## **Conclusion**

The research in the presented works can be summarized in the following groups:

1. Research and analysis of photovoltaic systems with different types of solar inverters: (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (11), (13), (14), (15).
2. Research and analysis in electrical machinery: (10), (12).
3. Presentation of the activities carried out under the project: (16).
4. Photovoltaic systems with hybrid inverters: (M1).

The contributions also have an educational aspect, because in the training of students in the disciplines of renewable energy sources, educational techniques and scientific and technical achievements discussed in the monograph and articles are used.