

РЕЗЮМЕТА НА НАУЧНИТЕ ТРУДОВЕ И СПРАВКА ЗА ПРИНОСИТЕ
на доц. д-р инж. Захари Живков Зарков,
представени за участие в конкурс за АД „професор“ в научно
направление 5.2. „Електротехника, електроника и автоматика“,
специалност „Електрически машини“,
обявен в ДВ бр. 93 от 26.11.2019г.

За участие в конкурса са представени общо 78 труда на кандидата, които включват:

- за изпълнение на показателите от група В като равностойни на хабилитационен труд са обединени 11 статии, които са индексирани в SCOPUS;
- за изпълнение на показателите от група Г са представени 8 публикации, индексирани в SCOPUS (една от тях има SJR от ScimagoJR), и 40 публикации в нереферирани списания с научно рецензиране или в редактирани колективни трудове;
- за изпълнение на показателите от група З са представени 2 статии, публикувани в издание, което има SJR от SCOPUS;
- представени са и 5 статии, които са приети за публикуване, като не са включени в точките от група Г;
- 2 броя признати патенти;
- 1 университетски учебник;
- 1 ръководство за лабораторни упражнения.

От научните публикации 17 са на български език, а 57 са на английски език. Издадени са в международни и български научни списания и периодични академични издания, както и в сборници с научни трудове на чуждестранни, международни, национални и университетски научни форуми.

Научните трудове в чужбина са публикувани в международни издания (Material Science Forum, Springer) и сборници на международни научни конференции - International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC 2010, 2012, 2016, Conférence Electrotechnique du Futur «EF 2009», 7ème Colloque FRancophone en Energie, Environnement, Economie et Thermodynamique - COFRET'14, състояли се в Охрид, Нови Сад, Варна, Гренобъл и Париж.

Публикувани са статии и в сборници на международни конференции в България, като International conference on electrical machines, drives and power systems ELMA, International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA, Challenges in Higher Education & Research in the 21st century, Colloque francophone sur l'énergie – environnement – économie et thermodynamique COFRET 2012.

В български издания са отпечатани статии в научните списания Ecological Engineering and Environment Protection EEEP, Electrotehnica & Electronica E+E.

Останалите са в периодични научни издания на висши училища.

Някои от статиите са докладвани на конференции и след това са отпечатани в списания, но в списъка на трудовете са влезли само един път.

Кандидатът е съавтор на два признати патента.

Документирано е участието в 3 международни и 12 национални проекта, като на 3 от тях кандидатът е бил ръководител.

Представена е справка за общо 63 цитирания на научните трудове на кандидата.

Група В4. Публикации, равностойни на хабилитационен труд под общо заглавие „Системи за генериране и преобразуване на електрическа енергия от възобновяеми енергийни източници“

Като равностойни на хабилитационен труд са обединени 11 статии, които са индексирани в SCOPUS.

[M1] **Zarkov, Z.**, B. Demirkov. Power Control of PMSG for Wind Turbine Using Maximum Torque per Ampere Strategy. 15-th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 1-3 June 2017, Sofia, Bulgaria, pp. 292-297. doi: 10.1109/ELMA.2017.7955451 (SCOPUS).

В статията е представено изследване на стратегии за управление на мощността във ВЕПС с голяма мощност 2MW, състояща се от вятърна турбина, синхронен генератор с постоянни магнити (СГПМ) и електронен преобразувател. Работата е съсредоточена върху управлението на генератора в областта на работа на системата с променлива скорост на турбината. Изследвана е комбинация от алгоритъм за следене на точката на максимална мощност на турбината MPPT и стратегия за управление на мощността на генератора с максимален момент за ампер (МТРА – Maximum Torque Per Ampere). Представени са съответните математични модели, използвани за турбината, MPPT, генератора, преобразувателя, както и алгоритъм за определяне на оптималните задания за токовете на генератора в dq координатна система за реализиране на МТРА. Направено е сравнение на работата на генератора при управление с МТРА и с управление с нулев ток по оста d (ZDAC – Zero d-axis Control) и е доказано, че при управление с МТРА електрическите загуби в машината се намаляват. Разработен е симулационен модел на системата. Представени са резултати от симулации при различни работни условия на системата, които се определят с предварително зададени профили на изменението на скоростта на вятъра във времето.

[M2] Demirkov, B., **Z. Zarkov**. Study of Two MPPT Methods for High Inertia Wind Turbine with Direct Driven PMSG. 2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Bourgas, 2018, doi: 10.1109/SIELA.2018.8447164 (SCOPUS).

В статията е представено изследване на методи за следене на точката на максимална мощност (MPPT) на вятърна турбина с голям инерционен момент. Разработени са математически и симулационни модели на два от най-често използваните методи за MPPT – с оптимално скоростно отношение (TSR) и с оптимален момент (ОТС). Разработен е и цялостен модел на ВЕПС, включващ турбина, синхронен генератор с постоянни магнити, електронен преобразувател back-to-back, свързан към електрическа мрежа. Основният акцент в работата е изследването и сравнението на действието двата метода за MPPT, при съчетаването им със стратегия за управление на генератора максимален момент за ампер и включването на цялата верига за преобразуване на енергията във ВЕПС. Представени са резултати от симулации при различни работни условия на системата със зададени профили на изменението на скоростта на вятъра: за изследване на динамиката със стъпаловидни изменения и реалистичен за изследване на производството на енергия.

- [M3] Demirkov, B., **Z. Zarkov**. Study of physical model of WECS with synchronous generator and back-to-back converter. 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, doi:10.1109/ELMA.2019.8771656 (SCOPUS).

Представен е разработен от авторите стенд (физически модел) за симулиране на работата на ветроенергийна преобразувателна система със синхронен генератор. Стендът включва: емулатор на вятърна турбина с двигател за постоянен ток и електронен преобразувател; синхронен генератор с електромагнитно възбуждане; два транзисторни трифазни преобразувателя, свързани с постоянно-токова линия (структура back-to-back); сензори и електронни схеми за управление на преобразувателите; микропроцесорна система dSPACE D1104 за управление и събиране на данни. Разработени са програми, работещи в реално време за управление на мощността на ВЕПС, включващи алгоритъм за MPPT, стратегия за управление на мощността на генератора с максимален момент за ампер и векторно управление на преобразувателя, осъществяващ връзката с мрежата. Получени са резултати от експериментални изследвания, които потвърждават адекватността на разработените алгоритми и модели за управление, които са приложими за ВЕПС със синхронни генератори с електромагнитно възбуждане и с генератори с постоянни магнити.

- [M4] **Zarkov, Z.**, I. Bachev, L. Stoyanov, V. Lazarov. A Study of Parallel Structures of DC-DC Converters for Application in Wind Energy Conversion Systems. 2016 IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), 25-30 Sept. 2016, Varna, Bulgaria, pp.32-37. 10.1109/EPEPEMC.2016.7751970 (SCOPUS).

Представената работа изследва и сравнява различни схеми на паралелни DC-DC преобразуватели с общо входно и изходно напрежение. Избраните схеми са подходящи за системи за преобразуване на вятърна енергия с променлива скорост. Изследвани са три схеми на преобразуватели – повишаващ (boost), неинвертиращ понижаващо-повишаващ (НИППП) и SEPIC (Single-Ended Primary Inductor Converter). Паралелните преобразуватели се състоят от два идентични преобразувателя с общи входни и изходни напрежения и управлявани с ШИМ с разместени във времето импулси (interleaved control). На базата на предложените детайлни математични модели са разработени симулационни модели в среда Matlab/Simscapе. Проведени са симулации, при които са получени формите на токовете и напреженията в различни точки на преобразувателите. Сравнени са максималните напрежения на транзисторите и диодите в преобразувателите. Изчислени са ефективните стойности на токовете в най-важните елементи на схемите и са направени сравнения и изводи.

- [M5] **Zarkov, Z.**, V. Lazarov, I. Bachev and L. Stoyanov. Theoretical and Experimental Study of Interleaved Non-Inverting Buck-Boost Converter for RES. 2018 International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech), Sofia, 2018, pp. 1-5. doi: 10.1109/HiTech.2018.8566632 (SCOPUS).

Статията е посветена на теоретично и експериментално изследване на паралелен неинвертиращ понижаващо-повишаващ преобразувател (НИППП), предназначен за работа в системи с ВЕИ. Съставен е детайлен математичен модел в пространството на състоянията. Разработен е и симулационен модел. Проведени са симулации и са показани резултати за формите на токовете и напреженията в различни точки от схемата при различни режими на работа. Изследвано е поведението на схемата при наличие на разлика в коефициента на запълване на управляващите импулси на двата преобразувателя. Разработен е лабораторен

модел на преобразувателя и управлението, с който са проведени експериментални изследвания. Резултатите показват, че изследваният паралелен преобразувател може успешно да работи при широк обхват на изменение на входното и изходното напрежение. Това прави НИППП особено подходящ за приложения във ВЕПС с малка мощност (до няколко киловата), където е необходимо да се адаптира изходът на генератора към различни товари.

[M6] **Zarkov, Z.**, I. Bachev, V. Lazarov. Small Wind Generator System with Non-Inverting Buck-Boost Converter and Battery Storage. 15-th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 1-3 June 2017, Sofia, Bulgaria, pp. 298-303. doi: 10.1109/ELMA.2017.7955452 (SCOPUS).

В статия е направено изследване на ВЕПС с малка мощност, работеща в автономен режим и състояща се от: вятърна турбина, електрически генератор с постоянен магнит, DC-DC преобразувател, акумулаторна батерия и автономен товар. Електрическият генератор е модифициран от авторите автомобилен алтернатор, чиято възбудителна намотка е заменена с пръстеновиден магнит от редкоземни материали (NeFeB). Към системата е включен и алгоритъм за MPPT, който регулира мощността на турбината посредством управление на товарния ток на генератора. Това се постига чрез управление на входящия ток на DC-DC преобразувателя. Разработени са математически и симулационни модели на системата в среда Matlab/Simulink. Проведени са симулации при четири различни напрежения на акумулатора и промяна на скоростта на вятъра, които показват, че алгоритмите за управление на мощността осигуряват добра производителност и добро динамично поведение на системата. Резултатите осигуряват база за оптимален избор на напрежение и капацитет на акумулатора, както и за избор или проектиране на подходящ генератор за дадена вятърна турбина и изходно напрежение.

[M7] Stoyanov, L., **Z. Zarkov**, I. Draganovska and V. Lazarov. Methods for Energy Production Estimation from Photovoltaic Plants: Review and Application. 2018 International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech), Sofia, 2018, pp. 1-5. doi: 10.1109/HiTech.2018.8566638 (SCOPUS).

В статията е направен преглед и обобщение на основните известни методи за оценка на мощността и производителността на фотоволтаичните централи (ФВ) - физични, статистически и хибридни. Основната цел на този преглед е да се избере подход и да се разработи подходящ модел за оценка на изходната мощност на съществуваща ФВ централа с панели от аморфен силиций. Експерименталната система е фотоволтаична централа, монтирана близо до с. Оряхово, област Хасково, с обща инсталирана мощност 1,31MW. Избран е моделът на Дюриш, който дава добри резултати при различни типове ФВ панели. Освен това моделът е подходящ прогнозиране на производителността на ФВ панели за бъдещи периоди от време на базата на метеорологични данни. Изчисленията с разработения модел за панели от аморфен силиций са извършени с използване на реална информация за времето и работата на централата. Моделът е апробиран чрез изчисляване на изходната мощност централата за дни с различни метеорологични условия и сравняване на резултатите с реално измерената мощност при същите условия.

- [M8] **Zarkov, Z.**, L. Stoyanov, V. Milenov, H. Voynova, V. Lazarov. Modeling of PV Generators from Different Technologies – Case Study. 2016 IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), 25-30 Sept. 2016, Varna, Bulgaria, pp. 419-424, doi: 10.1109/EPEPEMC.2016.7752034 (SCOPUS).

В статията е представено теоретично и експериментално изследване на фотоволтаични генератори с пет различни типа панели, които са свързани с еднофазни инвертори към електрическата мрежа. Всички генератори имат почти еднаква мощност и са инсталирани на същото място в гр. София. К.п.д. на фотоволтаичните модули се изчислява на базата на модела на Дюриш, като се използват два подхода – с и без отчитане на въздушната маса. Освен това е доказано, че влиянието на въздушната маса в модела може да бъде пренебрегнато, като грешката остава приемлива. На базата на резултатите от изследването са направени заключения за производителността на различните ФВ панели при реални метеорологични условия. Разработен е и модел на еднофазен инвертор за връзка с мрежата, който изчислява к.п.д. в зависимост от входящата мощност на инвертора. Направено е изчисление на изходящата мощност на ФВ генератор, състоящ се от панели и инвертор, като се използва комбинация от моделите на панела и на инвертора. Сравнението на получените резултати с експерименталните данни показва много добро съвпадение.

- [M9] Stoyanov, L., I. Draganovska, G. Notton, **Z. Zarkov**, V. Lazarov. Modelling PV Panels: Case Study of Oryahovo, Bulgaria. 15-th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 1-3 June 2017, Sofia, Bulgaria, pp. 91-95. doi: 10.1109/ELMA.2017.7955408 (SCOPUS).

Целта на това изследване е да се разработи адекватен модел, който изчислява к.п.д. и изходната мощност на низ, състоящ се от 4 тънкослойни силициеви ФВ модула, при различни климатични условия. Този низ е част от голяма ФВ централа, която се състои от 820 такива низа. Общата максимална мощност на един низ е 1600Wp. Изследването се основава на модела на Дюриш и използва данни, събрани от SCADA система от реалната фотоволтаична централа. К.п.д. на ФВ система и генерираната мощност са изчислени с оригиналния модел Дюриш и с модифициран модел, разработен от авторите. Като входни данни се използват слънчевата радиация в равнината на панелите и температурата на панелите, както и емпиричните коефициенти за апроксимацията на кривата на к.п.д. Получените теоретични резултати за изходната мощност са сравнени с експериментални данни. Сравнението показва, че влиянието на въздушната маса, взето под внимание в оригиналния модел, може да бъде пренебрегнато без съществена загуба на точност.

- [M10] Milenov, V., **Z. Zarkov**, B. Demirkov, I. Bachev. Modeling of electrical characteristics of various PV panels. 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, doi:10.1109/ELMA.2019.8771692 (SCOPUS).

В статията е представен 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. Разработен е подход за определяне на к.п.д. на ФВ панели при произволни работни условия (слънчева радиация и температура на клетките) на базата на модела на волт-амперните характеристики. Представени са изчислителни резултати за волт-амперните характеристики на ФВ панели от пет различни типа при различни работни условия (слънчева радиация и

температура на модулите), които са сравнени с експериментални данни и са получени много добри съвпадения.

[M11] **Zarkov, Z.** Application of dSPACE Platform in the study of electric generators with RES. 2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Bourgas, 2018, doi: 10.1109/SIELA.2018.8446654 (SCOPUS).

Статията представя възможностите за прилагане на микропроцесорната платформа dSPACE за изследване на електрически генератори, използващи възобновяеми енергийни източници (ВЕИ). Платформата се състои от хардуерна част и софтуер, които позволяват лесно и бързо програмиране и тестване на потребителски програми за управление и симулация. Една много важна опция е интеграцията с Matlab/Simulink RTI, която позволява бързото прототипиране на алгоритмите за управление, разработени в Simulink. Авторът представя своя опит с dSPACE модулите DS1104 и DS1103, които се използват в Лабораторията по възобновяеми източници на енергия (Електрически аспекти) в Електротехнически факултет на Технически университет - София. Платформата dSPACE се прилага главно за управление на електронни преобразуватели за електрическа енергия, произведена от ВЕИ. Резултатите доказват, че платформата е много полезна при бързо тестване и внедряване на управляващи алгоритми, разработени в Matlab/Simulink. Освен това предоставеният хардуер и софтуер дават възможност за събиране на данни в реално време, което намалява нуждата от допълнително измервателно оборудване.

Група Г7. Научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (SCOPUS)

Г1. Lazarov, V., D. Roye, **Z. Zarkov**, D. Spirov. Analysis of DC converters for wind generators. Proceedings of the XVI International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA2009, Vol. 2, 4–6 June 2009, Bourgas, Bulgaria, 2009, pp. 157-164 (**SJR=0.1, 2010**).

В статията е представен модел на електронен преобразувател, състоящ се от диоден токоизправител и DC/DC повишаващ преобразувател и работещ съвместно със синхронен генератор. Системата е предназначена за използване във вятърен генератор с променлива скорост на работа. Моделите са разработени в Matlab/Simulink и PSpice среди. Моделираните преобразуватели са реализирани и е проведено експериментално изследване. Показани са сравнения между резултатите от симулациите и експериментите и е намерено много добро съвпадение между тях. Симулирана е формата на тока и напрежението на синхронния генератор, както и токовете и напреженията в електронния преобразувател при различни режими на работа. Направена е оценка на загубите в преобразувателя в зависимост от натоварването на базата на данни от производителите на електронните елементи и измервания. Проведено е експериментално измерване на загубите в генератора при работа с диоден изправител и при работа с активен товар и е оценено понижаването на к.п.д. при работата с диодния изправител. Направен е хармоничен анализ на тока на генератора.

Г2. Lazarov, V., D. Roye, D. Spirov and **Z. Zarkov**. New Control Strategy for Variable Speed Wind Turbine with DC-DC converters. Proceedings of 14th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC 2010, 6-8 September 2010, Ohrid, Macedonia, pp. T12-120-T12-124. doi: 10.1109/EPEPEMC.2010.5606570

Предмет на изследването в статията е поведението на конфигурация от вятърна турбина с променлива скорост, синхронен генератор с постоянни магнити, диоден изправител, неинвертиращ повишаващо/понижаващ DC/DC преобразувател (non-inverting buck-boost) и товар. Разработен е симулационен модел на цялата система, като основен акцент е поставен на моделирането на DC/DC преобразувателя и регулатора (контролера) за управлението на мощността на електрическия генератор. Дефинирано е управление на електронния преобразувател за следене на точката на максималната мощност на турбината и управление със следене на точка на ограничена мощност при използване само на определен процент от наличната енергия на вятъра. Разработен е модел на контролер за следене на максималната мощност (СТММ) по метода „смущение-наблюдение“ и контролер за следене на точка на ограничена мощност. Представени са резултати от симулации с разработения модел при различни условия на работа с променлива скорост на вятъра. Резултатите показват работоспособността и правилното поведение на контролерите и в двата режима на работа – със СТММ и при работа с ограничена мощност. Методът е приложим при работа на ветрогенераторите при наличие на свръхпроизводство на електроенергия.

- Г3. Lazarov, V., D. Roje, D. Spirov, **Z. Zarkov**. Study of control strategies for variable speed wind turbine under limited power conditions. Proceedings of 14th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC 2010, 6-8 September 2010, Ohrid, Macedonia, pp. T12-125-T12-130. doi: 10.1109/EPEPEMC.2010.5606574.

В статията е представено изследване на ветроенергийна преобразувателна система (ВЕПС), състояща се от: вятърна турбина с променлива скорост, синхронен генератор с постоянни магнити, диоден изправител, повишаващ DC/DC преобразувател и товар. Дефинирано е управление на електронния преобразувател за работа с постоянна изходна мощност при променлива скорост на вятъра. Разработен е модел на контролер на мощността за следене на максималната мощност (СТММ) и контролер за работа с постоянна мощност на основата на размита логика (Fuzzy logic). Представени са резултати от симулации с разработения модел при работа с променлива скорост на вятъра. Резултатите показват работоспособността и правилното поведение на системата и в двата режима на работа – със СТММ и при работа с постоянна мощност. Методът е приложим при работа на ветрогенераторите при наличие на свръхпроизводство на електроенергия.

- Г4. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, G. Notton. Wind turbine with doubly fed induction generator operating at limited power point. 2012 15th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC), Novi Sad, Serbia, 2012, pp. DS2d.2-1-DS2d.2-7. doi: 10.1109/EPEPEMC.2012.6397304

В статията е представено изследване на ВЕПС, състояща се от вятърна турбина с променлива скорост и двойно захранен асинхронен генератор (ДЗАГ) с електронни преобразуватели в роторната верига. Разработен е симулационен модел на цялата система в средата Matlab/Simulink. Използвано е управление на ДЗАГ за следене на точката на максималната мощност на турбината и управление със следене на точка на ограничена мощност при използване само на определен процент от наличната енергия на вятъра. Разработени са модели на: контролер на мощността за следене на максималната мощност и на контролер за следене на точка на ограничена мощност с използване на предварително дефинирани криви на мощността на ветрогенератора. Представени са резултати от симулации при различни условия на работа с променлива скорост на вятъра. Резултатите показват работоспособността и правилното поведение на контролерите и в двата режима на

работа – с MPPT и при работа с ограничена мощност. Методът е приложен при работа на ветрогенераторите при наличие на свръхпроизводство на електроенергия.

- Г5. Stoyanov, L., **Z. Zarkov**, V. Lazarov, I. Bachev, B. Demirkov, G. Notton, A. Damian. Hybrid System Sizing using per unit Approach - Application to Bulgaria, France and Romania. 2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Bourgas, 2018, doi: 10.1109/SIELA.2018.8447072

Статията представя прилагането на подход за оразмеряване на свързана към електрическата мрежа хибридна система с фотоволтаични и вятърни генератори за различни обекти, разположени в България, Франция и Румъния. Подходът е основан на използването на относителни единици за генерираната мощност и произведената енергия. За входни величини се използват данни за метеорологичните условия на даденото място. За всяка страна се използва специфичен товаров график, който взема предвид особеностите на страните. Годишният енергиен баланс се използва като критерий за определяне на конфигурацията на хибридна система. Резултатите показват, че за разглежданите обекти в България и Франция е възможно да се създаде балансирана хибридна система с фотоволтаични и вятърни генератори, докато за избраното място в Румъния е невъзможно с тези комбинации от генератори и товари поради недостатъчния първичен енергиен потенциал.

- Г6. **Zarkov, Z.**, V. Lazarov, P. Rizov, L. Stoyanov, E. Popov. An approach for modeling the electronic converter-motor system for electric vehicles. 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, doi:10.1109/ELMA.2019.8771484

Тази статия представя комплексен подход за моделиране и симулация на задвижваща система, включваща инвертор и синхронен двигател с постоянни магнити (СДПМ) за приложение в електрически превозни средства. Двигателят е анализиран с метода на крайните елементи (FEM) чрез двумерен модел. Параметрите на двигателя (синхронни индуктивности и поток на постоянните магнити) са определени на базата на резултатите от анализа с FEM. За изучаване на цялостната задвижваща система е разработен цялостен симулационен модел в Matlab/Simulink, който включва и подсистемата за управление на преобразувателя и на въртящия момент и скоростта на двигателя. Реализирано е управление на двигателя посредством електронния преобразувател с максимален момент за ампер (МТРА) в първа зона до базовата скорост и с максимален момент при константно напрежение и константен ток във втора зона. Посредством симулации са изчислени характеристиките на двигателя в два режима на работа - като СДПМ (със синусоидални токове) и като безконтактен двигател за постоянен ток (БДПТ) (с правоъгълни токове) и са направени сравнения. Резултатите водят до заключението, че използването на двигателя като СДПМ е по-добрият избор поради по-високия въртящ момент, по-широкия диапазон на високи скорости и много по-ниските пулсации на въртящия момент.

- Г7. Stoyanov, L., V. Lazarov, **Z. Zarkov**, E. Popov. Influence of skin effect on stator windings resistance of AC machines for electric drives. 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, doi:10.1109/ELMA.2019.8771551

Докладът представя изследване на влиянието на скин-ефекта върху съпротивлението на намотката на статора в променливотоковите машини, предназначени за електрически автомобили. Изследването има за цел да се оцени теоретично влиянието на конструкцията на машината върху коефициента на полето, който влияе върху активното съпротивление на намотката. Направен е преглед и сравнение на методите за изчисляване на коефициента на полето и е избран подходящ метод. Изследвано е влиянието на различни параметри на намотката и честотата на тока в нея върху коефициента на полето. Резултатите от изследването показват, че е необходимо да се намери компромис между ниските стойности на коефициента на полето и малката височина на елементарните проводници. Влиянието на циркулационните токове се оценява с помощта на оригиналната формула и хипотезата на авторите за отчитане на влиянието на честота върху циркулационните токове. Резултатите показват някои насоки за дизайна на намотките на електрическите машини за автомобили и се нуждаят от експериментална проверка, която ще бъде обект на допълнителни проучвания.

Г8. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, I. Bachev. Determination of the synchronous inductances of a claw pole alternator. 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, doi:10.1109/ELMA.2019.8771543

Статията е посветена на определянето на синхронните индуктивности на генератори с ноктообразни полюси. За целта са използвани различни методи: 3D анализ с метода на крайните елементи (FEM); аналитично определяне на индуктивностите с използване на еквивалентна магнитна верига; експериментално изследване. Изследването е направено за два вида машини: алтернатор с ноктообразни полюси с възбудителна намотка и модифициран алтернатор с ноктообразни полюси с редкоземни магнити. Предложено е физическо и аналитично обяснение на разликите на синхронните индуктивности в двата изследвани генератора. Сравнението между изчислените и експериментално получените стойности показва, че всички използвани методи дават сравними резултати. Показано е, че стойностите на синхронните индуктивности, получени от различните тестове, са близки, като разликите не надвишават 15%. Това доказва правилността на използваните теоретични подходи и на получените резултати.

Г8. Научни публикации в нереферирани списания с научно рецензиране или в редактирани колективни трудове

Г9. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, H. Kanchev. Grid-connected single-phase inverter for renewable energy sources. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 59, book 2, 2009, pp. 122-130. ISSN 1311-0829

Статията е посветена на изследването на еднофазен инвертор, предназначен за свързване на генератори, използващи ВИЕ, с електрическата мрежа. Обосновани са принципите на обмена на енергия между инвертора и мрежата и за съгласуване на входящата и изходящата мощност с цел поддържане на енергийния баланс на системата. Разработен е компютърен модел на инвертора, който позволява работа при промяна на входящата мощност чрез промяна на изходния ток на инвертора. Моделът включва силовата част на инвертора, управлявана с ШИМ, регулатор на постоянното напрежение на входа на инвертора, регулатор на изходния ток, модул за синхронизиране с мрежата на базата на PLL. Представени са резултати от симулациите, които демонстрират адекватността на модела и неговата работоспособност при промяна на входящата мощност. Разработена е програма за работа в реално време за микропроцесорна система dSPACE, с която са проведени

експериментални изследвания. Резултатите от симулациите и експериментите доказват физическата адекватност на модела и позволяват неговото използване като елемент в системи за производство на електроенергия от ВИЕ.

- Г10. François, B., V. Lazarov, G. Notton, L. Stoyanov, **Z. Zarkov**, H. Kanchev. Energy flows management of a hybrid system with renewable energy generators. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 59, book 2, 2009, pp. 112-121. ISSN 1311-0829

В статията е представен обзор на проблемите при осигуряването на непрекъснато захранване на автономна система, включваща възобновяеми източници на енергия (ВИЕ). Представени са технологии, които могат да бъдат използвани за компенсиране флуктуациите на енергията, произведена от ВИЕ. Имайки предвид непостоянния характер на мощността от ВИЕ, са разгледани различните стратегии за управление на генераторите и устройствата за акумулиране на енергия в една автономна система. Управлението на енергийните потоци в една хибридна енергийна система, според режима на работа и според наличността на първичните ресурси, изисква разрешаването на сложни задачи за оптимизация и технико-икономически анализ. Представени са опитни резултати, които показват, че с правилно изчислени мощности на генераторите и селективно изключване на някои товари, когато това е възможно и необходимо, може да се постигне стабилна работа на хибридната система. Важен аспект, който изисква допълнителни изследвания, е възможността за преминаване от автономен режим в режим на свързаност към мрежата.

- Г11. Lazarov, V., L. Stoyanov, K. Bundeва, **Z. Zarkov**, D. Spirov. Modeling and simulation of squirrel cage induction generator. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 59, book 2, 2009, pp. 84-93. ISSN 1311-0829

Статията представя реализирането на модел на индукционна (асинхронна) машина с накъсо съединен ротор в средата на Matlab/Simulink. Представен е моделът на машината според обобщената теория на електрическите машини. От двете системи уравнения, моделиращи електромагнитните процеси в индукционна машина, е изведен модел в пространство на състоянията с токове като променливи на състоянието. Към тази система се добавя уравнението за движение, което прави модела на индукционната машина с накъсо съединен ротор пълен. За проверка на модела са използвани данни от машина с мощност 1,5kW. Проведени са различни симулации, които доказват правилната и стабилна работа на модела. Симулирани са следните сценарии: получаване на механична характеристика, рязка промяна на режима на работа (от двигател в генератор), стъпаловидна и постепенна промяна на входящия механичен момент, както и симулиране на задвижване от вятърна турбина. Представени са сравнения на различни величини, получени симулационно и експериментално от две експериментални постановки. Предвид направените допускания в модела, сравнението показва задоволителна точност.

- Г12. Lazarov, V., L. Stoyanov, K. Bundeва, **Z. Zarkov**, D. Spirov. Modeling and simulation of wound rotor induction generator. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 59, book 2, 2009, pp. 94-102. ISSN 1311-0829

Статията представя моделирането на индукционна машина с навит ротор. Разглежда се схема със свързани активни съпротивления в роторната верига на машината. Представен е класическият електромагнитен модел на машината според обобщената теория на електрическите машини. От него е получен модел в синхронно въртяща се координатна система в пространство на състоянията с токове като променливи на състоянието. Към тази система е добавено и уравнението на движението. Пълният модел е реализиран в среда Matlab/Simulink, като са използвани данни от малка индукционна машина. Представени са две симулации, потвърждаващи правилната и стабилна работа на модела – стъпаловидна

промяна на входния механичен момент и симулиране на работа с вятърна турбина. Направено е сравнение на статорни и роторни величини от симулации и от експерименти на две експериментални постановки с различни машини – с мощност 1,5 kW и 6 kW. Получена е задоволителна точност на съвпадението между теоретичните и експерименталните резултати.

- Г13. Lazarov, V., D. Spirov, **Z. Zarkov**, L. Stoyanov. Modeling and simulation of synchronous generator. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 59, book 2, 2009, pp. 103-111. ISSN 1311-0829

Статията представя моделирането на синхронен генератор в средата Matlab/Simulink. Описан е принципът за преобразуване на трифазната реална синхронна машина във фиктивна двуфазна. Представени са съответните уравнения на модела. На базата на тези уравнения е получен програмният модел в пространството на състоянията. Използвани са потокосцепленията в машината като променливи на състоянието. Пълният модел е получен с добавянето на уравнението за движение. За верификацията на модел са проведени симулации с данни за синхронен генератор с електромагнитно възбуждане с мощност 1,5kW. Представени са симулационни резултати с рязка промяна на входящия механичен момент и с промяна, имитираща входящ момент от вятърна турбина. Резултатите отговарят на теоретичните очаквания.

- Г14. Lazarov, V., G. Notton, L. Stoyanov, **Z. Zarkov**. Modeling of doubly fed induction generator with rotor-side converter for wind energy conversion application. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 60, book 1, 2010, pp. 289-298. ISSN 1311-0829

Статията представя моделирането на двойно захранен индукционен генератор с електронен преобразувател от страната на ротора. Описани са работните режими на пълната конфигурация с електронен преобразувател в роторната верига, свързан към променливотокова електрическа мрежа и енергийните потоци, които се обменят. Разгледан е частен случай, в който преобразувателят откъм мрежата е заменен с постояннотокова мрежа, което не нарушава работата на машината. Индукционната машина с навит ротор е моделирана чрез система уравнения с потокосцепленията като променливи на състоянията. Моделът на електронния преобразувател е реализиран при допускането, че електронните елементи в него са идеални ключове. Описана е работата на системата за управление на електронния преобразувател, която осигурява спазването на дадено задание за статорната мощност на генератора. Представени са резултати от симулации при стъпаловидни изменения на заданията за статорната активна и реактивна мощност. И в двата случая се наблюдава бърза реакция на системата за управление, благодарение на което може да се оцени правилната и стабилна работа на реализирания модел.

- Г15. Lazarov, V., B. François, H. Kanchev, **Z. Zarkov**, L. Stoyanov. Applications of supercapacitors in hybrid systems. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 60, book 1, 2010, pp. 299-310. ISSN 1311-0829

В статията са описани приложенията на суперкондензатори в хибридни системи с възобновяеми източници на енергия, както и в други устройства за съхранение на енергия. Суперкондензаторите са подходящи за компенсиране на колебанията в мощността на възобновяемите източници на енергия, дължащи се на непостоянния характер на първичния ресурс. Разгледани са различни структури на хибридни генератори, състоящи се от различни възобновяеми източници на енергия, електронни преобразуватели и суперкондензатори.

- Г16. Lazarov, V., D. Roye, D. Spirov, **Z. Zarkov**. Output power control for variable speed wind generators. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 60, book 1, 2010, pp. 311-320. ISSN 1311-0829

В статията се изследва работата на ветроенергийна преобразувателна система (ВЕПС), състояща се от: синхронен генератор с постоянни магнити, диоден изправител, повишаващ постояннотоков преобразувател и товар. Използване е нова стратегия за управление, основана на алгоритмите за следене на точката на максимална мощност (СТММ) на турбината и следене на точка на ограничена мощност (СТОМ) на турбината, която е по-малка от максималната възможна. Управлението е реализирано чрез регулиране на входящия ток на постояннотоковия преобразувател, като системата за управление на мощността задава на регулиращия блок референтната стойност на тока. Разработени са регулатори на мощността с размита логика (Fuzzy logic), които дават много добри резултати при управлението на нелинейни системи. Работата на моделите и системите за управление на ВЕПС е симулирана при променлива скорост на вятъра. Резултатите доказват надеждността и ефективността на новата стратегия за управление на изходящата мощност на ВЕПС.

- Г17. Лазаров, В., **З. Зарков**, Д. Спиров. Моделиране на активен изправител за ветроенергийна система със синхронен генератор. Годишник на Технически университет - София, том 60, книга 1, 2010, стр. 321-331. ISSN 1311-0829

Създаден е компютърен модел в среда Matlab/Simulink на активен трифазен транзисторен токоизправител с ШИМ, работещ съвместно със синхронен генератор, предназначен за работа във вертогенератор с променлива скорост на въртене. Моделът включва модели на генератора и активния изправител, заедно с регулаторите на тока и на постоянното напрежение на изхода на изправителя. Регулаторът на тока на генератора работи в dq координатна система с отделно регулиране на активната и реактивната съставка на тока. Избраният метод на ориентиране на координатната система е по напрежението на генератора (Voltage Oriented Control). Схемата за синхронизация използва фазово-заклучена система – PLL. Разработените регулатори на напрежението и на токовете следят достатъчно точно заданията при изменение на скоростта на генератора и при изменение на товара. Регулаторът на постоянното напрежение осигурява правилен баланс между мощностите на генератора и товара. Регулаторите на тока осигуряват синусоидална форма на тока, а филтърът потиска високочестотните пулсации и така се осигурява работа на синхронната машина при най-добри условия. Разработеният модел позволява да се регулира и реактивната мощност, обменяна с генератора, ако това е необходимо. Показани са резултати от симулации с разработения модел при променлива скорост на въртене на генератора и при промяна на товара.

- Г18. Лазаров В., **З. Зарков**, Л. Стоянов, Д. Спиров. Работа при максимална мощност на асинхронна машина с навит ротор за вятърен генератор. Годишник на Технически университет - София, т. 61, кн. 2, 2011, стр. 133-142. ISSN 1311-0829

Статията представя моделирането на ветроенергийна преобразувателна система с двойно захранен асинхронен генератор и управляващи системи, осигуряващи работа при максимална мощност. Към модела на двойно захранен индукционен генератор с електронен преобразувател откъм ротора от предишна публикация [14] са добавени моделите на вятърна турбина и междинен постояннотоков контур, формирайки по този начин модел на ВЕПС с индукционен генератор с навит ротор. Към управляващата система на преобразувателя откъм ротора са добавени и такива за осигуряване работата на реверсивния преобразувател на напрежение откъм мрежата и за следене на точката на максимална мощност, използваща предефинирана крива за задаване на статорната мощност. Пълният модел е реализиран в средата на Matlab/Simulink. Коефициентът на мощността на вятърната турбина е избран като

критерий за оценка на правилната работа на управляващите системи. Тя е онагледена посредством симулация с променлива входяща мощност за генератора, наподобяваща изменението на вятъра.

- Г19. Лазаров В., **З. Зарков**, Л. Стоянов, Х. Кънчев. Експериментално изследване на суперкондензатори и определяне на параметрите им. Годишник на Технически университет - София, т. 61, кн. 2, 2011, стр. 143-152. ISSN 1311-0829

В статията е описано експериментално изследване на суперкондензатор с цел определяне на параметрите му и извеждане на параметрите на еквивалентната заместваща схема. Разгледани са тестовите процедури, които се използват за определяне на параметрите суперкондензаторите. Разработена е опитна постановка за изследване на суперкондензатори. Представени са експериментални резултати. На базата на измерените и регистрирани величини са изчислени капацитетът на кондензатора, последователното и паралелното съпротивление на заместващата схема.

- Г20. Лазаров В., **З. Зарков**, Л. Стоянов, Х. Кънчев. Изследване на възможностите за компенсиране на флуктуациите на мощността на ветрогенератор със суперкондензатори. Годишник на Технически университет - София, т. 61, кн. 2, 2011, стр. 153-162. ISSN 1311-0829

В статията са разгледани възможностите за компенсиране на флуктуациите на мощността на електрически генератори, използващи ВИЕ, чрез суперкондензатори. Представени са възможните структури на хибридна система от ВИЕ и акумулиращи устройства. Разработена е стратегия за компенсиране на флуктуациите на мощността на ветрогенератор с помощта на акумулатор и суперкондензатор, работещи едновременно. Създаден е модел, включващ: суперкондензатор, DC-DC преобразувател, постояннотокова линия и регулатор на мощност в среда Matlab/Simulink. Представени са резултати от симулации при изпълнение на задание за изменяща се във времето мощност на суперкондензатора, която би се изисквала от системата за компенсация на флуктуациите. Създадена е опитна постановка за изследване на възможностите за компенсиране на флуктуациите на мощността на генератори, използващи ВИЕ, с помощта на суперкондензатор. Експерименталните изследвания показват, че чрез използване на суперкондензатор в представената в доклада структура, може да се постигне кратковременно компенсиране на изменения до 100% от номиналната мощност на вятърна турбина и по този начин генераторът може да осигури непрекъснато захранване на товарите.

- Г21. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, H. Kanchev. Modeling of photovoltaic panels for MPPT purposes. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 63, 2013, book 2, pp. 341-350. ISSN 1311-0829

Статията представя моделирането на фотоволтаичен (ФВ) панел и анализа на работата на панела при различни метеорологични условия с цел подготовка на управляващи повърхнини за следене на точката на максимална мощност. След направения обзор на моделите е избран такъв с един диод поради неговата простота и задоволителна точност. Представен е модел със серийно и паралелно съпротивление с отчитане на загубите в проводниците между панела и мястото на свързване към товара. Параметрите на модела са определени на базата на експериментални данни, събрани от опитна постановка с ФВ панели в катедра „Електрически машини” към ТУ-София. С готовия модел са реализирани симулации на волт-амперната характеристика на панела при различни метеорологични условия, за да се онагледят влиянието на температурата и слънчевата радиация върху тази характеристика. Въз основа на получените резултати са синтезирани управляващи 3D

повърхнини за електронни преобразуватели с различен тип задания (по ток и по напрежение) на управляващите ги системи.

- Г22. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, H. Kanchev, B. François. Grid-connected PV system with MPPT control. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 63, 2013, book 1, pp. 357-366, ISSN 1311-0829.

В статията е разгледана фотоволтаична система, свързана към електрическата мрежа, която използва контролер за следене на точката на максималната мощност. Системата се състои от фотоволтаично поле, повишаващ DC/DC преобразувател и инвертор за връзка с електрическата мрежа. Създаден е детайлен симулационен модел на системата, заедно с управлението за два случая – маломощна система с еднофазен инвертор и мощна система с трифазен инвертор. Създадени са и са изследвани два алгоритъма за следене на максималната мощност, основани на предефинирани криви и с размита логика (Fuzzy logic). Показани са резултати от симулациите, които доказват работоспособността на моделите при рязко променящи се метеорологични условия и адекватността на избраните подходи. Симулационните резултати от системата с еднофазен инвертор са сравнени с експериментални данни, при което се получава максимално отклонение 22%.

- Г23. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, H. Kanchev, B. François. Grid connected photovoltaic systems with limited output power control. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 63, book 2, 2013, pp. 331-340, ISSN 1311-0829.

Статията представя стратегия за ограничаване на изходящата мощност на фотоволтаична система, свързана с мрежата. Представени са две възможности за постигане на тази цел - с предварително известни таблици на мощността, при която се работи с определен процент от наличната максимална мощност и с размита логика (fuzzy logic), при която се поддържа постоянна изходна мощност на системата. Разработени са контролери, използващи предварително зададени криви на мощността и размита логика за работа с постоянна изходна мощност. Показани са симулационни резултати от модела на системата в Matlab/Simulink, които доказват работоспособността и адекватността на разработените модели. Ограничаването на изходящата мощност от фотоволтаична инсталация е мярка, която се използва предимно в екстремни ситуации, когато е застрашена стабилността на електроенергийната система. До момента това се осъществява или чрез пълното изключване на ФВ инсталация или чрез изключване от мрежата на определени масиви от инсталацията.

- Г24. **Зарков, З.**, В. Миленов, Я. Ненова, С. Рафаилов. Сравнително изследване на тънкослойни фотоволтаични панели. Годишник на Технически университет - София, т. 63, кн. 5, 2013, стр. 321-330, ISSN 1311-0829.

В статията е представено теоретико-експериментално сравнително изследване на четири вида тънкослойни ФВ модули, произведени от различни полупроводникови материали (aSi, CdTe, CIGS). Направени са сравнения на електрическите характеристики на елементарна клетка с площ 1cm^2 от всеки модул, получени чрез изчисления на базата на данните на производителите. Установено е, че плътността на тока при модулите от аморфен и микрокристален силиций е повече от два пъти по-малка от тази при модулите, използващи CdTe и CIGS. Последните работят с плътности на тока в клетките, които се доближават до тези на клетките от кристален Si. Снети са експериментално волт-амперни характеристики (ВАХ) на модулите при полеви условия – различна слънчева радиация и температура. Снети са и ВАХ на модулите при два типа засенчване. Резултатите за някои от модулите показват

значителни разлики от формата на ВАХ, дадена от производителя. Микрокристаллната технология при силиция позволява получаване на ефективности около 50% по-високи от тази на аморфния силиций. Сравнително новите материали CdTe и CIGS вече позволяват постигане на ефективност, близка до тази на клетките от кристален Si и доста по-висока от тази на аморфния Si.

Г25. Стоянов, Л., **Зарков, Х.** Кънчев, В. Лазаров. Оценка на производителността на фасадни фотоволтаични инсталации. Годишник на Технически университет - София, т. 63, кн. 6, 2013, стр. 77-84, ISSN 1311-0829.

В тази статия са разгледани фасадно интегрирани фотоволтаични модули от монокристален силиций, които биха могли да бъдат инсталирани на блок №8 на Технически университет – София. Целта е да се провери произведената енергия при различни разположения на модулите, предпоставени от избраната сграда. Първоначално е представена методика за преобразуване на данните за слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност в данни за реално получената от модулите радиация. Сградата има фасади с различни ориентации и затова е необходимо да се извърши това преобразуване. След това е описана методиката за определяне на произведената енергия от фотоволтаичните панели, която е представена подробно в предишни трудове на авторския колектив. Двете методики са приложени на конкретната сграда, спомената по-горе. Разгледаните варианти са за хоризонтално разположение на покрива, наклон 30° с минимално засенчване и вертикално разположение по трите фасади, имащи досег със слънчева радиация. Вертикалното разположение значително намалява произведената енергия от панелите. Този вид монтаж е подходящ при ограничена площ, когато произведената по-малко енергия е по-добра от пълната ѝ липса.

Г26. **Зарков, З.,** Л. Стоянов, В. Лазаров, Х. Кънчев. Платформа за изследване на фотоволтаични генератори със слънцеследящи системи. Годишник на Технически университет – София, том 64, книга 3, 2014, стр. 173-182. ISSN 1311-0829

В тази статия е представена разработката и реализацията на експериментална платформа за изследване на фотоволтаици. Платформата е разположена на Експериментална площадка за изследване на ВЕИ зад 4-ти блок на Технически университет-София. Платформата се състои от три слънцеследящи системи от тип Feina SF20 с монтирани на тях пет фотоволтаични генератори с модули, произведени по различни технологии и от различни материали: монокристален силиций и поликристален силиций; тънкослойни модули от микрокристален силиций, кадмиев телурид и медно-индиево-галиев селенид. Всички ФВ генератори са свързани към електрическата мрежа с еднакви еднофазни инвертори SB1200. Реализираните генератори са с близки максимални мощности, което позволява сравнително изследване на различните технологии фотоволтаични панели при идентични условия. За регистриране на околната температура, скоростта на вятъра, температурата на ФВ панели и на слънчевата радиация на всеки от трите тракера са монтирани сензори, свързани към устройство Sunny Sensor box. Информацията се предава по интерфейс RS485 през кабелна линия. Към същия интерфейс са свързани и инверторите. Данните се събират от специализирано устройство за събиране на данни Sunny Webbox, което е свързано чрез локална мрежа към персонален компютър. От компютъра с помощта на платформата Webbox през интернет браузър може да бъде осъществен отдалечен достъп до данните и настройките на инверторите. Платформата предоставя големи възможности за сравнителни, количествени и качествени изследвания на ФВ системи и техните елементи в различни

режими на работа, като: 1. Режим на слънцеследене по две направления – ъгъл на наклон и азимут; 2. Работа при режим на фиксиран ъгъл на наклона и зададен азимут; 3. Автоматично следене и регистриране на произведената енергия, слънчевата радиация, температурата на панелите и околния въздух, скоростта на вятъра; 4. Възможност за изследване на различни технологии фотоволтаични панели при едни и същи условия. Освен това платформата дава възможности за бъдещи усъвършенствания и доразвитие.

Г27. Зарков, З. Система за снемане на характеристиките на слънчеви модули. Годишник на Технически университет – София, том 64, книга 4, 2014, стр. 219-228. ISSN 1311-0829

Представена е разработена от автора система за автоматизирано снемане на волт-амперни характеристики (ВАХ) на фотоволтаични модули. Системата се състои от стандартни компоненти и такива, специално разработени за целта. Идеята на устройството се състои в това да се регистрират във времето стойностите на тока и напрежението след включването на панела към предварително разреден кондензатор и след това да се начертае зависимостта на тока от напрежението. За проверка на адекватността на идеята и възможностите на устройството е съставен модел в Matlab/Simulink, с който са направени различни симулации. Реализираната система се състои от: силова част с кондензатори и комутатори; сензор за напрежение; сензор за ток; блок за аналогово-цифрово преобразуване и персонален компютър. За аналогово-цифрово преобразуване на сигналите и управление на комутаторите се използва DAQ модул от National Instruments NI USB-6009, който се свързва през USB интерфейс към персонален компютър. За разработването на виртуалния инструмент за управление, измерване, визуализация и записване на данните е използвана средата LabView. В статията са показани схеми на разработените от автора сензори за ток и напрежение, както и резултатите от калибрирането им и проверката на точността на преобразуването. Представени са резултати от измерване на ВАХ на 4 различни ФВ панела, снети при еднакви условия. Независимо, че характеристиките на панелите се различават, системата за измерване се справила много добре във всички случаи. Системата позволява бързо снемане на ВАХ при реални работни условия на панелите, като се осигурява постоянство на външните фактори – температура и слънчева радиация. Системата е мобилна и относително евтина.

Г28. Зарков, З., Б. Демирков, Л. Стоянов, И. Бачев, В. Лазаров. Състояние и развитие на съвременните ветроенергийни преобразувателни системи (част 1 и част 2). Годишник на Технически университет - София, том 67, кн. 1, 2017, стр. 311-319, 320-330. ISSN 1311-0829

Статията представлява обзор на съвременното състояние на ветроенергийните преобразувателни системи (ВЕПС) и показва тенденциите на тяхното развитие. Дадени са сведения за дела на произведената енергия от вятърни генератори по света. Направен е преглед и сравнение на видовете електрически генератори, използвани във ВЕПС, както и разпределението на техните пазарни дялове. Засегнати са възможностите за приложение на нови видове генератори като безчеткови и свръхпроводими. Разгледани са актуалните конфигурации на ВЕПС. Направена е класификация на силовите електронни преобразуватели, използвани във вятърните генератори. Показани са най-често използваните схеми на преобразуватели, както и перспективни такива – паралелни преобразуватели, каскадни преобразуватели, матрични преобразуватели. Дадени са базови сведения за управлението на отделните подсистеми във ВЕПС. Посочени са тенденциите в развитието

на съвременните ВЕПС, като: нарастване на мощността на единичния ветрогенератор; преминаване към генератори и преобразуватели за средно напрежение; преминаване към използване на синхронни генератори с постоянни магнити; преминаване към директно задвижване на генератора; постепенно навлизане на силови електронни елементи от алтернативни на силиция материали – SiC (силициев карбид), а за в бъдеще и от GaN (галиев нитрид); масово използване на електронните преобразуватели и при ВЕПС с малка мощност.

Г29. **Зарков, З.,** И. Бачев, Б. Демирков, В. Лазаров. Експериментално изследване на алтернатори за приложения във ветроенергийни преобразователни системи. Годишник на Технически университет - София, том 67, кн. 1, 2017, стр. 331-340. ISSN 1311-0829

Статията представя резултатите от експериментално изследване на автомобилен алтернатор с ноктообразни полюси с оглед приложението му във ВЕПС. Представен е създаден от авторите експериментален стенд за изследване на алтернатори. Получени са характеристиките и параметрите на машината и е проучена възможността за работата ѝ във ВЕПС с малка мощност. На базата на получените от изследването характеристики и параметри е избран математически модел, който описва алтернатора като синхронна машина с електромагнитно възбуждане. Разработен е симулационен модел на алтернатора в среда Matlab/Simulink. Резултатите от симулациите са сравнени с експерименталните данни и е получено добро съвпадение.

Г30. **Зарков, З.,** И. Бачев, Б. Демирков, В. Лазаров. Експериментално изследване на алтернатор с постоянни магнити. Годишник на Технически университет - София, том 67, кн. 1, 2017, стр. 341-350. ISSN 1311-0829

В тази статия е представено създаването на алтернатор с ноктообразни полюси с възбуждане от редкоземни магнити. За целта е модифициран автомобилен алтернатор, като възбудителната му намотка е заменена с пръстеновиден постоянен магнит от редкоземни материали (Nd, Fe, В). Проведено е експериментално изследване на модифицирания алтернатор, получени са характеристиките му и е проучена възможността за работата му във ВЕПС с малка мощност. Сравнени са основни характеристики на алтернатора с възбудителна намотка и алтернатора с редкоземен магнит, като е отбелязано голямото сходство между тях. На базата на експерименталните данни и обобщената теория на електрическите машини е избран подходящ математически модел на алтернатора, който се разглежда като синхронна машина с постоянни магнити. Разработен е симулационен модел на алтернатора в среда Matlab/Simulink. Резултатите от симулациите са сравнени с експерименталните данни и е получено добро съвпадение. Очаква се замяната на възбудителната намотка да доведе до повишаване на коефициента на полезно действие на алтернатора поради премахването на загубите за възбуждане.

Г31. **Зарков, З.,** В. Лазаров, Л. Стоянов, И. Бачев, Б. Демирков. Физическо моделиране на ветроенергийни преобразователни системи със синхронни генератори с постоянни магнити. Годишник на Технически университет - София, том 68, кн. 1, 2018, стр. 263-272. ISSN 1311-0829

Статията представя разработен и реализиран от авторите стенд за физическо моделиране на ветроенергийна преобразователна система (ВЕПС) в лабораторни условия. В стенда като генератор се използва най-съвременна синхронна машина с постоянни магнити.

Стендът съответства по своята структура и елементи на реална ВЕПС. В повечето случаи не е възможно да се използва реална вятърна турбина в лабораториите. Затова се налага тя да бъде заменена с електрически двигател с подходящо управление, който да имитира специфичните механични характеристики на турбината. Освен това в повечето лаборатории е невъзможно да се монтират мегаватови машини, каквито са мощностите на съвременните големи ВЕПС. Моделирането и изследването на такива мощни вятърни генератори може да стане чрез стендове, които представляват умалени физически модели, съответстващи на големите ВЕПС. В статията е представена структурата на стенда и са описани накратко основните му елементи – задвижване, генератор, изправител, инвертор, система за настройка и наблюдение. Потребителите имат възможност да задават различни криви на мощността на инвертора, които съответстват на максималната мощност на вятърната турбина. Проведени са експериментални изследвания със стенда и са показани някои основни резултати, получени при тях. Резултатите показват, че параметрите на трите главни елемента на стенда – двигател, генератор, инвертор, са правилно подбрани и се съгласуват добре при реалната работа на системата. Това дава възможност да се изследва работата на ВЕПС при променлива скорост на вятъра, както при краткотрайни преходни режими, така и за продължителни периоди от време.

Г32. Стоянов, Л., **З. Зарков**, В. Лазаров, И. Драгановска. Оценка на получената енергия от фотоволтаична централа. Годишник на Технически университет - София, том 68, кн. 1, 2018, стр. 273-282. ISSN 1311-0829

Статията представя прогнозирането на изходната мощност, генерирана от централа с тънкослойни ФВ панели от аморфен силиций. За изчисляване на мощността на ФВ панели е използван модифициран от авторите модел на Дюриш с предварително изчислени емпирични параметри. Вzeti са под внимание загубите в постояннотоковите електронни преобразувателите и инверторите в централата чрез съответни математически модели. Освен това е осъществен анализ на регистрираните от SCADA система грешки, чрез които се подобрява точността на модела. С моделите на Дюриш и на инвертора е изчислена изходящата мощност на централата за дни с различни атмосферни условия. Получените резултати са сравнени с реално измерени стойности. Осъществено е сравнение на постояннотоковата мощност на фотоволтаичното поле, свързано към един инвертор, и на променливотоковата мощност на цялата централа. Неточността се дължи на някои опростявания в моделите, като средноквадратичната грешка остава в рамките на 6-8%. Предимството на използваната методика е, че не е необходимо предварително обучение и точността се запазва при различни атмосферни условия.

Г33. Стоянов, Л., **З. Зарков**, В. Лазаров, В. Миленов. Изпитване на фотоволтаични панели в лабораторни условия. Годишник на Технически университет - София, том 68, кн. 1, 2018, стр. 283-290. ISSN 1311-0829

Статията представя преглед на реализацията на нискобюджетен стенд за изпитване на фотоволтаични панели в лабораторни устройства, състоящ се от слънчев симулатор и анализатор на фотоволтаични инсталации. Слънчевият симулатор е доставен от френска фирма след адаптация и реализация по задание на изследователския екип. Симулаторът е с продължително огряване, осъществено с халогенни лампи. Управлението на силата на осветяване е ръчно и се осъществява чрез тиристорен регулатор. Два вентилатора в долния край на стенда охлаждат изпитвания панел и позволяват изпитване при различни температури. Анализаторът на ФВ панели е фабричен и позволява снемането на волт-амперни характеристики на

инсталации с мощност до 12kW. Със създадения стенд са изпитани ФВ от пет различни технологии. Снети са волт-амперни характеристики при различни стойности на осветеността и температурата на панелите. Получените резултати съвпадат с теоретичните характеристики, но се наблюдава стъпаловидно изменение в кривите. С цел идентификация на причината за неравностите панелите са изпитани и при реални условия (слънчева светлина), като отново е използван същият анализатор. Получените криви са гладки, което води до заключението, че проблемът вероятно се дължи на неравномерност в осветяването. Елементите на стенда са нискобюджетни, като е търсен компромис между задоволително качество и ниска цена. Стендът е създаден в рамките на проект ДУНК 01/3 „Университетски научно-изследователски комплекс“ и е разположен в Лаборатория по възобновяеми източници на енергия (електрически аспекти) в катедра „Електрически машини“, Електротехнически факултет на ТУ-София.

- Г34. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, L. Stoyanov. Experimental study of losses in doubly-fed induction generator. Ecological Engineering and Environment Protection, vol. 3, 2012, pp. 34-40. ISSN 1311-8668

Статията представя експериментално изследване на загубите в конфигурация двойно захранен индукционен генератор, включваща: индукционен генератор с навит ротор, двупосочен електронен преобразувател (back-to-back), състоящ се от два трифазни транзисторни преобразувателя, LC филтър и трансформатор. Конфигурацията е реализирана като експериментален стенд в Лаборатория по възобновяеми източници на енергия (електрически аспекти) в катедра „Електрически машини“, Електротехнически факултет на ТУ-София. Представени са резултати от експерименти и изчисления, които показват зависимостите на загубите в отделните елементи на системата от преобразуваната мощност и от скоростта на въртене на машината. Представено е разпределението на различните загуби при различни стойности на статорните мощности, както и при различни скорости на въртене. Получено е изменението на коефициента на полезно действие на системата в зависимост от скоростта на въртене и на мощността. Резултатите показват необходимостта от взимане предвид на загубите, пренебрегнати в симулационните модели, което би довело до значително подобрене на съответствието между изчисленията и реалността.

- Г35. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, L. Stoyanov. Inertia influence on MPPT operation of a wind turbine with doubly fed induction generator. Ecological Engineering and Environment Protection, No. 4, 2012, pp. 52-58. ISSN 1311-8668

Статията представя изследване на влиянието на инерционните маси върху работата с максимална мощност на ветроенергийна преобразувателна система с двойно захранен индукционен генератор. Описани са накратко моделите на отделните елементи от ветрогенератора и прилежащите му управляващи системи. Реализираният модел в средата на Matlab/Simulink е валидиран на експериментален стенд в Лаборатория по възобновяеми източници на енергия (електрически аспекти) с микропроцесорна система за управление dSPACE. Проведени са симулации, при различни стойности на инерционните маси в системата и е изследвана работата на ветрогенератора при различни профили на вятъра. Въз основа на получените резултати се установява, че инерционната маса трябва да осигурява компромис между стабилността на управлението за следене на точката на максимална мощност и внесените в мрежата флуктуации на мощността.

Г36. **Зарков, З.**, Л. Стоянов, Х. Кънчев, В. Миленов, В. Лазаров. Сравнително изследване на фотоволтаични системи с различни видове панели. Екологично инженерство и опазване на околната среда, бр. 3, 2015, стр. 47-56, ISSN 1311-8668.

В статията е представено експериментално сравнително изследване на слънцеследящи и фиксирани ФВ системи с пет типа панели, произведени по различни технологии и от различни материали. Направени са сравнения на електрическите характеристики на ФВ генератори на базата на данните от производителите. Представени са редица резултати от експериментални изследвания на ФВ системи при различни метеорологични условия – слънчеви, облачни дни. Представени са данни и сравнения на производителността на фиксирани и слънцеследящи системи и е направена оценка на произведената енергия в режима на следене на слънцето. Направени са изводи за качествата на тънкослойните панели, сравнени с тези на панелите с кристални силициеви клетки.

Г37. Bachev, I., B. Demirkov, L. Stoyanov, V. Lazarov, **Z. Zarkov**, G. Notton, A. Damian. Generalized approach for feasibility study of hybrid systems with renewable energy sources. Ecological Engineering and Environment Protection, No. 2, 2018, pp. 64-73, ISSN 1311-8668, DOI:10.32006/eeep.2018.2.6473

Статията представя разработен от авторите обобщен метод за оразмеряване на хибридна система с фотоволтаични и вятърни генератори и акумулиращи устройства. Методът е основан на използването на относителни единици за генерираната мощност и произведената енергия. За входни величини се използват данни за метеорологичните условия на даденото място и товаров график на консуматорите. Методът е приложен за три места в България, Франция и Румъния, като са направени изчисления за три примерни конфигурации на мощността на генераторите. На базата на годишния енергиен баланс са направени сравнения на различните конфигурации, разположени на трите изследвани места. Направени са съответни изводи за реализуемостта на избраните конфигурации на различните географски положения.

Г38. **Зарков, З.** Моделиране и изследване на ветроенергийни преобразувателни системи със синхронни генератори в лабораторни условия. Екологично инженерство и опазване на околната среда, No 4, 2018, стр. 60-69, ISSN 1311-8668.

В статията е представен разработен в Лабораторията по ВИЕ (електрически аспекти), Електротехнически факултет на Технически университет - София стенд за физическо моделиране на ветроенергийна преобразувателна система, включваща: задвижващ мотор с електронен преобразувател, синхронен генератор с електромагнитно възбуждане, диоден изправител, повишаващ DC-DC преобразувател, трифазен транзисторен инвертор с филтър, който е свързан към електрическата мрежа. Стендът е оборудван с подходящи сензори за напрежение и ток, които са необходими за управлението на преобразувателите и мощността на системата. Посредством използването на микропроцесорната платформа dSPACE DS1104 и с помощта на разработена от автора програма се извършва не само управлението на електронните преобразуватели в системата, но и става възможно да се следят и променят параметрите на управлението при работеща система. Показана е структурата на разработен от автора модел в Simulink, който се компилира директно в код за микропроцесорната система за управление в реално време на стенда. В статията са представени и резултати от експериментални изследвания, които потвърждават качествата на реализирания стенд и съответствието му на реалните вятърни генератори. Разработеният физически модел на

ВЕПС със синхронен генератор представлява гъвкаво решение за верификация на теоретични изследвания на процесите на преобразуване на енергията, работата на енергийните преобразуватели и системите за управление във вятърните генератори.

- Г39. **Зарков, З.** Симулиране на работата на вятърни турбини в лабораторни условия. Екологично инженерство и опазване на околната среда, No 4, 2019, стр. 44-53, ISSN 1311-8668.

Целта на тази статия е да представи подходи за създаване на емулятори на вятърни турбини (ЕВТ), които се използват в лабораторни условия. Посредством използването на подходящи математически модели на вятърни турбини и имплементирането им в микроконтролери за управление на електронни преобразуватели е постигната работа на задвижващия мотор, която съответства на поведението на реална вятърна турбина. Представени са два емулятора на вятърни турбини. Първият използва ДПТ с двигател с независимо възбуждане, захранван от мостов транзисторен импулсен преобразувател. Управлението му е имплементирано върху микропроцесорна система dSpace DS1104, като се използва обратна връзка по тока на двигателя. Вторият ЕВТ използва ДПТ с възбуждане от постоянни магнити и се захранва с трифазен управляем тиристорен изправител. За управлението му се използва микроконтролер Arduino Nano и обратна връзка по въртящия момент на вала на двигателя. Експерименталните изследвания показват пълната функционалност на разработените устройства, както и възможностите им да симулират точно поведението на реални вятърни турбини в лабораторни условия. Решението с използване на обратна връзка по въртящ момент дава по-добри резултати по отношение на точността на отработване на зададените характеристики на турбината, но то изисква скъп сензор за измерване на въртящия момент. Приложението на задвижвания с двигатели за постоянен ток е напълно оправдано в тези специфични случаи и резултатите са много добри. Разработените емулятори на ВТ позволяват да се извършва успешно разработване и теоретично и експериментално изследване на системи за оползотворяване на вятърната енергия с различни типове генератори, електронни преобразуватели, алгоритми и методи за управление и управляващи контролери.

- Г40. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, H. Kanchev, L. Stoyanov, B. François. Compensation of power fluctuations in PV systems with supercapacitors. Electrotehnica & Electronica E+E, 9-10, 2012, pp. 48-55, ISSN 0861-4717.

Статията разглежда проблемите, свързани с интегрирането на възобновяеми източници в енергийната система, произтичащи от променливия характер на първичните енергии. Възможните решения за преодоляването на проблема са разработването на хибридни системи и въвеждането на устройства за съхранение на енергия. Тези устройства служат за компенсиране на промените на мощността от ВЕИ и позволяват да се постигне контролирано постоянно производство на електроенергия. В работата авторите предлагат система за компенсиране на флуктуациите на мощността на ФВ електроцентраля с помощта на суперкондензатор като устройство за съхранение на енергия. Създаден е модел на система с фотоволтаик, суперкондензатор и електронен преобразувател в среда Matlab/Simulink. Проведени са симулационни изследвания с използване на реални данни за промените на слънчевата радиация. Представени са и резултати от експериментални изследвания за работа на суперкондензатор с променлива мощност. Резултатите потвърждават работоспособността на идеята и възможностите за компенсиране на флуктуациите на мощността на PV централи с малка мощност само със суперкондензатори.

- Г41. Lazarov, V., Z. Zarkov, L. Stoyanov, H. Kanchev. Strategies for output power control of photovoltaic systems. *Electrotehnica & Electronica E+E*, 11-12, 2012, pp. 62-72. ISSN 0861-4717

Статията обобщава работата на авторите по моделирането на фотоволтаична система с повишаващ постоянен ток преобразувател и инвертор, свързан към електрическата мрежа и възможните стратегии за управление на изходящата ѝ мощност. Представени са детайлно моделите на различните елементи от системата във вид, подходящ за реализиране в средата на Matlab/Simulink. Разгледани са три стратегии за управление на изходящата мощност – следене на точката на максимална мощност, следене на точката на постоянна мощност и следене на точката на ограничена мощност. Първата от тях се използва масово, докато другите две са предложени от авторите с цел да могат да се изпълняват изискванията на оператора на разпределителната мрежа. Идеите са защитени с патент [П1]. При поддържане на постоянна мощност се спазва задание на оператора, когато първичният потенциал го позволява. При ограничаване на мощността се изисква изходящата мощност да бъде определен процент от максимално възможната. Трите стратегии са имплементирани в управляващи системи, използващи размита логика (Fuzzy logic) или предефинирани повърхнини. Представени са симулационни резултати, илюстриращи коректната работа на моделите и управляващите системи при работа в трите режима.

- Г42. Kanchev, H., B. François, **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, V. Lazarov. Study of power fluctuations and their compensation in a hybrid system with renewable energy sources, *Electrotehnica & Electronica E+E*, 11-12, 2015, pp. 54-60. ISSN 0861-4717.

В статията е разгледано комбинираното въздействие на слънчевия и вятърния потенциал и съответно произведената енергия върху работата на автономна хибридна система за генериране на електричество от възобновяеми енергийни източници (ВЕИ). Изследваната система включва ФВ генератор, вятърен генератор, три газови микротурбини, устройство за акумулиране на енергия и товари. Представени са математическите модели, използвани за оценка на първичните енергии и за изчисляване на произведената електрическа енергия от различните генератори. Представен е алгоритъмът за енергиен мениджмънт на хибридната система. Целта на този алгоритъм е да планира и управлява работата на газовите микротурбини и акумулиращото устройство, така че да се осигури непрекъснато захранване на потребителите при минимални емисии на CO₂. Това се постига чрез намаляване на пусканията и спиранията на газовите микротурбини и оптимизация на мощността, с която работят. Представени са резултати от симулации при различни разпределения на първичните енергии, като разпределението на слънчевата енергия е еднакво за всички симулации, докато за скоростта на вятъра са използвани три различни разпределения. Анализът на резултатите позволява определяне на оптималните инсталирани мощности на възобновяемите генератори, вземайки предвид първичния потенциал и товаровия график.

- Г43. **Zarkov, Z.** DC-DC converter for interfacing PV panel to micro-inverter. *Electrotehnica & Electronica E+E*, 9-10, 2019, pp. 161-168, ISSN 0861-4717

Статия представя разработката и моделирането на DC-DC преобразувател за свързване на тънкослоен ФВ модул към стандартен микро-инвертор. Идеята е да се включи специализиран изолиран DC-DC преобразувател като интерфейс между ФВ модул и

инвертора. Преобразувателят е проектиран да трансформира волт-амперната характеристика на панела, така че неговото изходно напрежение да отговаря на изискванията на инвертора. Въз основа на математическите модели на отделните елементи е създаден симулационен модел на комбинацията от панел, DC-DC преобразувател и товар в Matlab/Simscape. Резултатите от симулациите доказват, че предлаганият преобразувател е в състояние да адаптира характеристиките на модула към микро-инвертор при различни метеорологични условия. Характеристиките на изхода на преобразувателя имат формата, необходима за нормална работа на алгоритъма за следене на точката на максимална мощност от страна на инвертора.

- Г44. Spirov, D., V. Lazarov, D. Roye, **Z. Zarkov**, O. Mansouri. Modélisation des convertisseurs statiques dc-dc pour des applications dans les énergies renouvelables en utilisant Matlab/Simulink®. Conférence Electrotechnique du Future «EF 2009», Sep 2009, Compiègne, France, pp., ISBN 978-2-913923-30-0

В статията са представени два подхода за моделиране на DC-DC преобразуватели в софтуерната среда Matlab/Simulink. Първият подход използва еквивалентни схеми на преобразувателите и уравнения с променливи на състоянието за изграждане на моделите. Вторият подход се основава на библиотеката на SimPowerSystems на Simulink, която позволява създаването на модели чрез директно изчертаване на електрическите схеми на преобразувателите. За целта в библиотеката са предоставени модели на различни елементи, които се използват в електротехниката и електрониката – пасивни и активни, както и допълнителни модели на различни управляващи и измерващи устройства. В статията е описано и оразмеряването на пасивните елементи на преобразувателите. Подходите са онагледени чрез създадени модели на два типа DC-DC преобразуватели - повишаващ (boost) и понижаващо-повишаващ (buck-boost). Показани са и начините на моделиране на управлението на преобразувателите с ШИМ и обратни връзки по ток и по напрежение. Представени са резултати от симулации, които са сравнени с експериментални резултати от изследване на идентични преобразуватели. Доброто съвпадение доказва правилността на избраните подходи и валидността на моделите.

- Г45. Stoyanov, L., G. Notton, **Z. Zarkov**, V. Lazarov. Estimation de l'influence de l'orientation et de la technologie sur la productivité des modules photovoltaïques intégrés dans les bâtiments. 7ème COLloque FRancophone en Energie, Environnement, Economie et Thermodynamique - COFRET'14. Paris, CNAM; 23-25 avril 2014. Actes du colloque, Article 4/PF-073, pp. 809-815, ISSN 2269-1901.

В тази статия е направено сравнение на производителността на тънкослойни фотоволтаични панели, разположени в различни позиции, които са възможни при интегрирането на ФВ панели в сгради с цел намаляване на консумацията на енергия от електрическата мрежа. В проучването са използвани десет обекта с различни географски ширини, разположени в Северното полукълбо. Изследването е направено с два подхода за изчисляване на слънчевата радиация върху повърхността на ФВ модули. При първия подход се използва само директната слънчева радиация, а при втория подход се вземат предвид дифузните и отразените компоненти на радиацията. Като входни данни за изчисленията се използват: географското положение, ориентацията на панела, часовото време, директната слънчева радиация и температурата на околния въздух. Изчислява се произведената енергия за една година със стъпка един час. Изчисленията са направени за 126 различни пространствени ориентации на модулите. Резултатите са представени като 3D повърхнини.

Анализът показва, че когато се използва слънчевата радиация извън атмосферата, оптималната позиция при всички случаи е с ориентация на юг. Във втория случай дифузните и отразените от земята слънчеви лъчения намаляват отрицателното въздействие на отклонението от оптималния азимут, но влиянието на наклона се увеличава. Резултатите от проучването позволяват на архитектите и строителните инженери да определят енергийния добив на вградените в сградата ФВ панели при произволна ориентация и географско положение.

- Г46. **Zarkov, Z.**, V. Milenov, I. Garciarena Martincorena. Study of Small-Power Wind Generator with Single-Phase Grid-Connected Inverter. Proceedings of Challenges in Higher Education & Research in the 21st century, vol. 13, June 2-5, 2015, Sozopol, Bulgaria, pp. 135-140. ISBN 978-954-580-356-7

В тази работа са показани резултати от изследване на модел на вятърен генератор с малка мощност, състоящ се от: синхронен генератор, изправител, ограничител на напрежение и еднофазен инвертор с филтър и трансформатор, свързан към мрежата. В програмния продукт PSpice е създаден симулационен модел на електрическата част на вятърния генератор. В малките ветрогенератори е препоръчително да се използва т.нар. ограничител на напрежение, който се включва след токоизправителя и има функцията да предпази инвертора от недопустимо високо входно напрежение при отпадане на товара или мрежата. Разработена, симулирана, произведена и изпитана е електронна схема на ограничител на напрежение за малък ветрогенератор. За управлението на схемата се използва хистерезисен регулатор със следящо управление. Проведено е и експериментално изследване върху експериментален стенд за физическо моделиране на ВЕПС. Създаденият ограничител на напрежение функционира според очакванията, като се получава доброто съвпадение между резултатите от симулацията и експеримента резултат доказва правилната работа на разработения компютърен модел.

- Г47. Kanchev, H., B. François, **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, V. Lazarov. Compensation of wind power fluctuations in an autonomous hybrid system comprising a wind generator and micro gas turbines. Fourteenth International conference on electrical machines, drives and power systems ELMA 2015, 1-3 Oct. 2015, Varna, Bulgaria, pp. 131-138, ISSN: 1313-4965.

Настоящата статия представя изследване на влиянието на 3 случая на разпределение на вятърната енергия върху работата на автономна хибридна система с газови микротурбини, вятърни генератори и акумулиране на енергия. Работата на системата се симулира с различни ветрогенератори с мощност от 30 до 60kW. Всички случаи използват една и съща крива на натоварване. Планирането на мощността се извършва по предварително разработен алгоритъм за включване на газовите микротурбини и акумулиращото устройство като се използва динамично оптимизиране. Целта на оптимизацията е да се минимизират емисиите на CO₂ еквивалент за денонощието. Резултатите показват, че и за трите случая на разпределение на скоростта на вятъра, интегрирането на по-мощен вятърен генератор в системата намалява консумираното гориво, но това не винаги води до по-малко емисии на CO₂ еквивалент. Това се дължи на факта, че в такива случаи газовите микротурбини са принудени да работят с мощност много под номиналната. Освен това резултатите показват, че за оптимална работа на автономна хибридна система връзката на първичния ресурс на възобновяемата енергия и товаровият график на консумацията е от по-голямо значение отколкото простото увеличаване на мощността на генераторите на възобновяема енергия.

Г48. **Zarkov, Z., V. Milenov.** Wind turbine emulator with DC motor drive. Fourteenth International conference on electrical machines, drives and power systems ELMA 2015, 1-3 Oct. 2015, Varna, Bulgaria, pp. 146-151, ISSN: 1313-4965.

В статията е представен разработен от авторите лабораторен емулатор на вятърна турбина (ВТ). Предназначението на емулатора на ВТ е да се замени реалната вятърната турбина с електрически двигател, който задвижва генератора в лабораторен стенд за изследване на ВЕПС. Изискванията към него са да се държи като истинска вятърна турбина, като отработва механичните ѝ характеристики при зададена скорост на вятъра. Това е постигнато като задвижването е осъществено с двигател за постоянен ток (ДПТ), който се захранва с електронен преобразувател, управляван от контролер с подходящи обратни връзки. В статията са представени използваните математически модели на вятърната турбина, силовия електронен преобразувател и двигателя за постоянен ток. Разработен е симулационен модел на целия емулатор, заедно с управляващия контролер. С разработения модел на емулатор на ВТ са проведени редица симулации при различна скорост на вятъра и различен товарен момент на генератора. Показани са основните резултати от тези симулации. Направена е симулация за сравнение с референтен идеален модел, за да се определи какви отклонения биха се получили при наличие на грешки в измерените величини (ток, скорост на въртене) и в заложените параметри на двигателя. Резултатите от всички симулации показват, че емулаторът се държи като реална вятърна турбина и следва механичните ѝ характеристики при променлива скорост на вятъра.

Група Е26. Признати заявки за патенти

П1.Лазаров, В., Д. Спиров, **З. Зарков**, Л. Стоянов. „Система за управление на изходящата мощност на фотоволтаична система“. Патент №66503 В1, 31.08.2012.

Целта на изобретението е да се създаде активна електрическа система за управление на изходящата мощност на фотоволтаична система. Фотоволтаичната система е свързана към променливотоковата електрическа мрежа през система за управление на изходящата мощност, състояща се от инвертор, запасяващо устройство, свързано на входа на инвертора и управляващо устройство (контролер). Контролерът се състои от сензорен блок, управляващ блок за определяне на заданието по мощност, блок за избор на режим и регулатори. Блокът за избор на режим определя режима на работа на управляващото устройство измежду две възможности: работа при максимална мощност като класическа система със СТММ или работа с мощност, по-малка от максималната (режим на Следене на Точката на Ограничена Мощност – СТОМ). Изборът на режим на работа се прави според изискванията на електроенергийния системен оператор и състоянието на запасяващото устройство. При пълно зареждане на запасяващото устройство се преминава към ограничаване на изходната мощност на фотоволтаичната система.

Предимството на предложеното изобретение се състои във възможността за плавно регулиране на мощността, отдавана в мрежата от ФВ инсталация, в съответствие с изискванията на системния оператор. Подобно регулиране е необходимо при наличието на висока слънчева радиация, която предполага голямо електропроизводство на фотоволтаиците, и ограничение на електрическата мрежа да поеме това производство. Така отдаваната в мрежата мощност може да отговаря на заданието на системния оператор, предотвратявайки изключване на модули от системата или на цялата система.

П2. Лазаров, В., Д. Спиров, **З. Зарков**, Л. Стоянов. „Система за управление на изходящата мощност във ветроенергийна преобразователна система“. Патент №66506 В1, 31.08.2012.

Целта на изобретението да се създаде електрическа система за активно управление на изходящата мощност на ВЕПС. Ветроенергийната преобразователна система се състои от вятърна турбина и електрически генератор. Тя се свързва с електрическата мрежа посредством система за управление, състояща се от комбинация от два електронни преобразувателя: AC-DC и DC-AC преобразувател. Към постояннотоковата линия е свързано и устройство за запасяване на енергия.

Управляващото устройство получава информация за моментното състояние на системата (ток, напрежение в постояннотоковия кръг, електромагнитен момент, скорост на въртене на ротора, скорост на вятъра и др.) посредством сензорен блок. Въз основа на състоянието на устройството за запасяване на енергия и на заданието за мощност на системния оператор се избира режим на работа от блока за избор на режим. Възможни са два режима на работа на системата за управление: а) стандартен режим, при който се генерира максималната възможна мощност при текущата скорост на вятъра (режим на СТММ) и б) ограничен режим, при който се генерира мощност според зададена от ЕЕ системен оператор допустима граница за отдаване в мрежата на мощност под максималната и/или според ограничения режим за работа на УЗЕ (режим на Следене на Точка на Ограничена Мощност – СТОМ).

Предимствата на системата, съгласно изобретението, се състоят във възможността за управление на изходящата мощност във ветроенергийна преобразователна система с цел нейното ограничаване, според зададени от ЕЕ системен оператор и/или УЗЕ условия. Такива условия могат да бъдат висока скорост на вятъра или невъзможност на енергийната система и УЗЕ да поемат максималната електрическа мощност от ВЕПС. По този начин се предотвратява моментното изключване на ветрогенератора и се удължава неговата работа, което е свързано с икономически ползи за собственика на ВЕПС без да се нарушава балансът на ЕЕ мрежа и/или на консуматор, който не е свързан към мрежата.

Група 3. Публикации в списания с импакт ранг (SJR)

S1. **Zarkov, Z.**, L. Stoyanov, H. Kanchev, V. Milenov, V. Lazarov. Study of photovoltaic systems' performances with different module types. Materials Science Forum, Vol. 856, 2016, pp. 279-284. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.856.279, (**SCOPUS, SJR=0,180**)

В статията е представено теоретично и експериментално изследване на системи с фотоволтаични модули, произведени по различни технологии (кристална и тънкослойна) и от различни материали – монокристален силиций, поликристален силиций, кадмиев телурид, медно-индиево-галиев селенид и микрокристален силиций и работещи при еднакви метеорологични условия. Експериментът е проведен на изследователска платформа за ФВ, разработена от авторите, разположена на експериментална площадка зад 4-ти блок на близо до Технически университет-София. Избран е подходящ математически модел от тип "вход - изход" за определяне на к.п.д. на панелите в зависимост от слънчевата радиация и температурата. На базата на експерименталните данни са определени коефициентите на математическия модел за всички изследвани типове ФВ панели. Моделът е верифициран като е изчислена електрическата мощност на ФВ генератори при дадени метеорологични условия и е сравнена с измерената. Сравнението между теоретичните и експерименталните резултати показва добро ниво на съвпадение със средно-квадратична грешка под 3%. Направени са сравнения на работата на различните ФВ генератори при едни и същи работни условия. Изводите са, че въз основа на резултатите е трудно да се определи кой тип ФВ панели са най-ефективни, тъй като всеки от тях показва определени предимства при

определени климатични условия. При някои метеорологични условия тънкослойните модули (CdTe, CIGS и μcSi) са конкурентни на вече установените кристални силициеви технологии.

- S2. Stoyanov, L., **Z. Zarkov**, G. Notton, V. Lazarov. Comparison of thin film modules productivity for building integration. Materials Science Forum, Vol. 856, 2016, pp. 309-314. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.856.309, (**SCOPUS, SJR=0,180**)

В статията е направено сравнение на производителността на тънкослойни фотоволтаични панели, разположени в различни позиции, които са възможни при интегрирането им в сгради с цел намаляване на консумацията на енергия от електрическата мрежа. В проучването са използвани десет обекта с различни географски ширини от екватора до полярния кръг. За 126 различни ориентации на повърхността на панелите се определят два вида слънчева радиация – тази, извън атмосферата и слънчева радиация върху повърхността на Земята, която включва дифузните и отразените от земята компоненти на радиацията. Стойностите на слънчевата радиация и температурата на околната среда се въвеждат в математическия модел за определяне на к.п.д. на ФВ панели. Изчислена е годишната произведена енергия за всяко от положенията на ФВ модули и за всяко от изследваните географски места. Резултатите са представени като 3D повърхнини в зависимост от азимута и ъгъла на наклон на панелите. Панелите от медно-индиев селенид (CIS) показват по-голям енергиен добив от тези от аморфен Si поради по-високия си к.п.д. Когато има дифузни и отразени от земята слънчеви лъчения, се намалява отрицателното въздействие на отклонението от оптималния азимут, но влиянието на наклона се увеличава. Аморфният силиций има предимство, когато наклонът на панелите е между 20 и 50°, докато CIS е подходящ за по-големи наклони. Резултатите от проучването позволяват на архитектите и строителните инженери да определят енергийния добив на вградените в сградата фотоволтаични панели и да търсят оптимален избор на разположения и тип панели.

Статии на кандидата, приети за публикуване (не са отразени в списъка с точките за изпълнение на минималните изисквания)

- ПП1. **Zarkov, Z.**, V. Milenov, I. Bachev, B. Demirkov. Grid connected PV systems with single-phase inverter. XI Научна конференция БулЕФ 2019, Варна, 11-14.09.2019. Приета за публикуване в IEEE Xplore Digital Library.

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 и 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. С помощта на симулации и експерименти е доказано, че изходният ток на инвертора се изкривява поради несинусоидалното напрежение на мрежата в точката на свързване.

- ПП2. **Zarkov, Z.**, L. Stoyanov. Emulator of PV Panels for Laboratory Studies. XI Научна конференция БулЕФ 2019, Варна, 11-14.09.2019. Приета за публикуване в IEEE Xplore Digital Library.

Статията представя реализацията на емулатор на фотоволтаични панели за лабораторни изследвания. Разгледани са различните възможности за реализация на такъв емулатор. Емулаторът е изграден на базата на програмируем захранващ източник, управляван от компютър. Управлението се извършва чрез алгоритъм, програмиран в среда LabVIEW. Алгоритъмът използва подходящ математически модел на ФВ панел, основан на еднодиодна еквивалентна схема. Уравненията на модела се програмират в LabVIEW среда и се проверява възможността за получаване на различни I-V характеристики, съответстващи на различни метеорологични условия. Накрая правилната работа на създадения емулатор е проверена и илюстрира с експерименти с различни товари, които следват волт-амперната характеристика на симулирания панел.

ППЗ. **Zarkov, Z.,** L. Stoyanov, I. Draganovska, V.Lazarov. The Comparison of different approaches for solar radiation forecasting using Artificial Neural Network. XI Научна конференция БулЕФ 2019, Варна, 11-14.09.2019. Приета за публикуване в IEEE Xplore Digital Library.

Статията представлява изследване на многослойна невронна мрежа (НМ) за прогнозиране на слънчевата радиация за един ден напред. Предложени са шест комбинации с три различни входни променливи и два различни броя скрити слоеве. Във всяка комбинация броят на скритите неврони в слоевете също варира. Изходът от невронната мрежа е дневната промяна на слънчевата радиация за един ден напред. Разглеждат се три различни входни набора - дневна радиация за последните шест дни, историческа информация за прогнозирания ден от последните две години и историческа информация за прогнозирания ден от изминалите четири години. Най-добрите резултати се получават за еднослойен персептрон, когато като входни данни се използват измерената слънчева радиация за шест предходни дни или данни за същия ден за двете изминали години. Изчислената средно-квадратична грешка за оптималната комбинация е между 1,44% и 8,38%. По-задълбочен анализ на сравнението между измерената и прогнозираната слънчева радиация показва, че през ясните слънчеви дни точността на модела е по-висока и проблемите се наблюдават при ниска слънчева радиация.

ПП4. **Zarkov, Z.,** L. Stoyanov, I. Draganovska, V.Lazarov. Application of ANN for solar radiation forecasting - case study of Oryahovo. XI Научна конференция БулЕФ 2019, Варна, 11-14.09.2019. Приета за публикуване в IEEE Xplore Digital Library.

Тази статия представя приложението на изкуствени невронни мрежи (НМ) за прогнозиране на слънчевата радиация за района на Оряхово, България. Прегледът на възможностите за прогнозиране на слънчевата радиация, които биха могли да бъдат приложени за оценка на продукцията на фотоволтаичните станции, показва, че статистическите методи показват по-добри резултати за краткосрочни предвиждания, отколкото физическите и хибридните техники. В днешно време най-използваният статистически подход е невронната мрежа. В конкретния случай е използвана мрежа от тип многослоен персептрон за прогнозиране на слънчевата радиация за ден напред за разглеждания обект в Оряхово. За входни параметри се използва измерената слънчева радиация за шест предишни дни. В резултат на симулациите е установено, че НМ с 20 скрити неврона показва най-доброто представяне в сравнение с останалите структури. Средноквадратичната грешка в този случай е между 4% и 5%.

ПП5. Stoyanov, L., **Z. Zarkov,** G. Notton, V. Lazarov. Design opportunities and building integration. In: Energy Efficient Building Design, Springer, 2020. Приета за публикуване.

Статията обобщава опит предишни изследвания на авторите в областта на определянето на енергийното производство от интегрирани в сградите фотоволтаични

панели и системи. Особеността на тази интеграция се състои в това, че ориентацията и наклонът на панелите могат да бъдат произволни в зависимост от разположението и формата на сградите. Методиката използва като входни данни слънчевата радиация и температурата на въздуха, както и географските координати на инсталацията и ориентацията и наклона на панелите. За определяне на мощността и енергията се използва редуциран модел на Дюриш, предложен от авторите в предишни публикации. Предложената методология е приложена за различни обекти в Северното полукълбо, като се използват идеализирани и реалистични метеорологични данни за слънчевата радиация. Изследването е направено за пет различни типа ФВ панели, произведени по различни технологии от различни материали (моно-, поли- и микрокристален силиций, медно-индиево-галиев-селенид и кадмиев-телурид). Резултатите показват, че не може да се дадат универсални препоръки за оптималната ориентация на панелите. Резултатите от изчисленията са валидирани с експериментални данни от платформата за изследване на ФВ системи в Техническия университет - София и показват добро припокриване на дневна и месечна база.

Група E23. Публикуван университетски учебник

У1. Лазаров, В., З. Зарков, Л. Стоянов. Възобновяеми енергийни източници и електрически генератори. София, Авангард Прима, 2013. ISBN 978-619-160-201-8

Учебникът е съставен съгласно лекционния материал на курса „Възобновяеми енергийни източници и електрически генератори“, като включва някои теми и от курса „Силови електронни преобразуватели за ВЕИ“ и е предназначен за студентите от магистърската специалност „Получаване на енергия от възобновяеми енергийни източници“ в Електротехническият факултет на ТУ-София. Вниманието е насочено към електрическите генератори, работещи с възобновяеми енергийни източници, като за пълнота са дадени кратки сведения за климатологията и метеорологичните измервания, за слънчевата, вятърната, водната, геотермалната и за енергията от биомасите. Учебникът отразява разглеждането на тематиката в нашата и чуждестранната литература, както и някои изследвания на авторите. Включени са следните основни теми: Електрически генератори за ВЕИ (където се разглеждат въртящи се електрически генератори, ФВ генератори и системи, вятърни генератори, основни типове електронни преобразуватели, които се използват във областта на ВЕИ, горивни клетки); енергиен одит и хибридни системи с ВЕИ.

Група E24. Публикувано университетско учебно пособие

У2. Лазаров, В., З. Зарков, Л. Стоянов. Ръководство за лабораторни упражнения по екология и възобновяеми източници на енергия. София, Авангард Прима, 2013. ISBN 978-619-160-196-7

Ръководството е предназначено за студентите от бакалавърския курс от специалност „Електротехника“ на Електротехническият факултет на Техническия университет - София. Включени са упражнения за: запознаване с тематиката; метеорологични измервания и оценка на енергийния потенциал на първичните източници; изследване на въртящи се електрически генератори при работа в автономен режим и в паралел с мрежата; изследване на характеристиките на фотоволтаични панели; мониторинг на хибридна система с ВЕИ.

Обобщение на приносите в научните трудове с участието на кандидата, представени за участие в конкурса

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

1. Изследване на процесите и производителността на ветроенергийни преобразувателни системи (ВЕПС).

- 1.1. Направен е обзор на съвременното състояние на ВЕПС и са очертани тенденциите на тяхното развитие. Определени са насоките за бъдещи изследвания [Г28] .
- 1.2. Разработени са математически и компютърни симулационни модели на отделните елементи на ветроенергийни преобразувателни системи с голяма (2-3MW) и с малка (под 10kW) мощност: вятърна турбина, мултипликатор, електрически генератор, електронни преобразуватели, акумулатори, товари и подсистеми за управление [М1], [М2], [М6].
- 1.3. Разработени са цялостни симулационни модели на ветроенергийни преобразувателни системи с голяма (2-3MW) и с малка (под 10kW) мощност с различни типове генератори, работещи съвместно със силови електронни преобразуватели, в автономен режим или в паралел с електрическата мрежа [М1], [М2], [М6], [Г1], [Г2], [Г3], [Г4], [Г18].
- 1.4. Създаден е метод за оценка на влиянието на инерционните маси във ВЕПС с двойно захранен индукционен генератор върху нейната работа с максимална мощност [Г35].
- 1.5. Получени са резултати от експериментални изследвания с електрически генератори, електронни преобразуватели и стендове за физическо моделиране на ВЕПС, резултатите от които доказват адекватността на разработените математически и симулационни модели. Определени са на базата на експериментални изследвания и данни от производителя загубите в електронния преобразувател и неговият к.п.д. в зависимост от натоварването [Г1].
- 1.6. Създадена методология за експериментално изследване на загубите в система на двойно захранен индукционен генератор заедно с електронните преобразуватели при различни стойности на статорната мощност и скоростта на въртене [Г34].

2. Изследване на електрически машини за вятърни генератори.

- 2.1. Предложена е еквивалентна магнитна верига за изследване на индуктивностите при генератори с ноктообразни полюси. Съставен е 3D модел с крайни елементи на машина с ноктообразни полюси. Доказана е хипотезата, че при синхронните машини с постоянни магнити, включително и тези с ноктообразни полюси, индуктивността по оста q е по-голяма от индуктивността по оста d [Г8].
- 2.2. Създадени са модели на индукционна машина с накъсо съединен ротор и с навит ротор в Matlab/Simulink в координатна система, въртяща се със синхронна скорост и с токове като променливи на състоянието [Г11], [Г12], [Г14].
- 2.3. Създаден е алгоритъм и модел на синхронна машина в Matlab/Simulink с потокосцепления като променливи на състоянието [Г13].
- 2.4. Разработени са симулационни модели на алтернатор с електромагнитно възбуждане и на алтернатор с постоянни магнити [Г29], [Г30].
- 2.5. Създаден е алтернатор с постоянен редкоземен магнит, който има отлични параметри и може да бъде доразвит като продукт за пазара [Г30].
- 2.6. Доказана е възможността за използване на модифициран алтернатор с постоянен магнит във ВЕПС с малка мощност в конфигурация с диоден изправител и електронен преобразувател [М6].

3. Изследване на електронни преобразуватели за приложение при преобразуване на енергията от ВЕИ.

- 3.1. Разработен е симулационен модел на активен трифазен токоизправител с ШИМ съвместно със синхронен генератор, предназначен за работа във ветрогенератор с променлива скорост на въртене [Г17].
- 3.2. Разработени са детайлизирани математически и симулационни модели на три типа паралелни DC/DC преобразуватели с общо входно и изходно напрежение, управлявани с разместени във времето импулси, за приложение във ВЕПС [М4], [М5].
- 3.3. Направени са сравнения на базата на симулации между свойствата на различни типове паралелни DC/DC преобразуватели с оглед на приложението им във ВЕПС [М4].
- 3.4. Разработен е модел в среда Matlab/Simulink на еднофазен инвертор за връзка с мрежата на генератори, използващи ВИЕ. Доказана е възможността за регулиране на изходната мощност в съответствие с входната, така че да се поддържа енергийният баланс на системата. Проведен е експеримент, доказващ адекватността и практическата приложимост на модела [Г9].
- 3.5. Предложена е схема и е разработен симулационен модел на ограничител на напрежение за малък ветрогенератор. Създаден е ограничител на напрежение за малък ветрогенератор, който е включен като част от стенд за физическо моделиране на ВЕПС [Г46].
- 3.6. Разработен е симулационен модел на ФВ система с контролер за МРРТ с еднофазен инвертор, свързан към електрическата мрежа. 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 [ПП1].
- 3.7. Представена е нова идея за адаптиране на характеристиките на тънкослойни ФВ панели с високо изходно напрежение към стандартни микро-инвертори посредством междинен DC-DC преобразувател. Създаден е симулационен модел на ФВ панел заедно с предложения DC-DC преобразувател [Г43].
- 3.8. Направено е сравнение между два подхода за съставяне на симулационни модели на DC-DC преобразуватели и тяхното управление в среда Matlab/Simulink. Доказано е, че моделите с използване на библиотеката SimPowerSystems са дават резултати, по-близки до реалните. Моделите с използване на променливи на състоянието са по-сходими и работят по-бързо [Г44].

4. Създаване и изследване на алгоритми и стратегии за управление на мощността на вятърни генератори.

- 4.1. Дефиниран е нов начин на управление на мощността на електрическия генератор във ВЕПС посредством електронния преобразувател за следене на точка на ограничена мощност при използване само на определен процент от наличната мощност на вятъра [Г2], [Г4]. Идеята е защитена с патент [П2].
- 4.2. Дефинирано е управление на електронния преобразувател във ВЕПС, позволяващо работа на системата с постоянна мощност при промяна на скоростта на вятъра [Г3], [Г16]. Идеята е защитена с патент [П2].
- 4.3. Разработени са модели на контролер на мощността за следене на максималната мощност (СТММ) и контролер за работа с постоянна мощност с използване на размита логика за приложение във ВЕПС [Г16].

- 4.4. Създадени са алгоритъм и симулационен модел на пълна ветроенергийна преобразователна система с двойно захранен индукционен генератор. Създадени са алгоритми и модели на управляващи системи, осигуряващи за работата на ветрогенератора с максимална мощност [Г18].
- 4.5. Разработен е алгоритъм за определяне на оптималните задания за токовете на генератора в dq координатна система за реализиране на стратегия за управление с максимален момент за ампер (МТРА), който е включен във веригата на регулаторите на въртящ момент и на тока на синхронен генератор [М1].
- 4.6. Разработени са програмни реализации на алгоритми за следене на точката на максимална мощност (MPPT) на вятърна турбина чрез два метода: с оптимално скоростно отношение (TSR) и с оптимален момент (ОТС) [М2].
- 4.7. Доказано е, че при управление на въртящия момент на синхронния генератор с използване на стратегията за максимален момент за ампер се постигат по-малки електрически загуби в сравнение със стратегията с нулев ток по оста d [М2].
- 4.8. На базата на симулации и сравнения е доказано, че използването на TSR метода за MPPT води до по-голямо количество произведена електроенергия от ВЕПС в сравнение с метода ОТС, но това е свързано с много-по-големи динамични натоварвания на турбината и генератора [М2].

5. Изследване на фотоволтаични панели и генератори.

- 5.1. Предложен е математически модел за изчисляване на к.п.д. и мощността на ФВ панели, който е основан на модела на Дюриш, но е пренебрегнато влиянието на въздушната маса. Доказано е, че разработеният модел работи с много добра точност, без да е необходимо да се познава точното астрономическо време и географско положение на ФВ инсталация [М7], [М8], [S1].
- 5.2. На базата на експериментални данни са определени емпирични коефициенти, необходими за прилагането на разработения модел за теоретично изчисляване на к.п.д. и мощността, за ФВ панели от шест различни типа, които са произведени по различни технологии и от различни материали [М8], [М9], [S1].
- 5.3. Разработен е подход за определяне на температурния коефициент на к.п.д. на ФВ панели на базата на експериментални данни [М8], [S1].
- 5.4. Разработен е математически модел на еднофазен инвертор за връзка на ФВ генератор с мрежата, който изчислява к.п.д. и изходящата мощност в зависимост от входящата мощност на инвертора [М8].
- 5.5. Създадена е методика за изчисляване на генерираната мощност във ФВ централа като се изчислява изходната мощност на отделен стринг, постоянен ток електронен преобразовател, инвертор и на цялата централа [Г32].
- 5.6. Разработени са модели с невронни мрежи за прогнозиране на слънчевата радиация за един ден напред. Моделът дава възможност за прогнозиране и на генерираната мощност на малки или големи фотоволтаични системи за един ден напред на базата на данни за предишните шест дни [ПП3], [ПП4].
- 5.7. На базата на експериментални и симулационни изследвания са направени сравнения на производителността и изводи за влиянието на метеорологичните условия върху работата на различните типове ФВ панели [М8], [М9].
- 5.8. 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 валиден за ФВ панели, които са произведени по различни технологии и от различни материали [М10], [Г21].

- 5.9. Разработен е подход за определяне на к.п.д. на ФВ панели при произволни работни условия (слънчева радиация и температура на клетките) на базата на модела на волт-амперните характеристики [M10].
- 5.10. Създадена е методика за сравнение на произведената енергия от различни ФВ инсталации за интегриране във фасадите на сгради, основаваща се на: методика за определяне на реално получената от модулите слънчева радиация и методика за определяне на произведената енергия от ФВ модули [Г25], [Г45]. Получени са резултати за енергийния добив от монокристални силициеви ФВ панели при различни ориентации на 10 места по земното кълбо [Г45]. Получени са резултати за енергийния добив от два типа тънкослойни ФВ панели при 126 различни ориентации на 10 места по земното кълбо [S2], [ПП15].
- 5.11. Проведени са теоретични и експериментални сравнителни изследвания на характеристиките на различни типове фотоволтаични панели и генератори, работещи при еднакви условия [M8], [M10] [Г24], [Г36].
- 6. Създаване и изследване на алгоритми и стратегии за управление на мощността на фотоволтаични генератори.**
- 6.1. Създаден е метод за следене на точката на максимална мощност чрез управляващи повърхнини с отчитане на изменението на слънчевата радиация и температурата на околната среда [Г21], [Г41].
- 6.2. Създаден е детайлен симулационен модел на фотоволтаична система, свързана с мрежата, заедно с управлението. Създадени са и са изследвани два алгоритъма и модели на съответните им контролери за следене на максималната мощност, основани на предефинирани криви и с размита логика (Fuzzy logic) [Г22].
- 6.3. Предложена е стратегия за ограничаване на изходящата мощност на фотоволтаична система. Разработени са два подхода за постигане на тази цел - с предварително известни таблици на мощността, при която се работи с определен процент от наличната максимална мощност и с размита логика (Fuzzy logic), при която се поддържа постоянна изходна мощност на системата [Г23]. Идеята е защитена с патент [П1].
- 7. Изследване на хибридни системи, използващи ВЕИ.**
- 7.1. Разработен е нов подход за изследване и оразмеряване на хибридни системи с вятърни и фотоволтаични генератори, който е основан на използването на относителни единици. Подходът дава възможност да се правят сравнения и да се търси оптимална конфигурация на системата, без да се използват конкретните стойности на мощността и енергията, както и без да се залагат конкретни модели вятърни и ФВ генератори [Г5], [Г37].
- 7.2. Обобщени са множество изследвания по темата и са представени опитни резултати, които показват, че с правилно оразмерени мощности на генераторите и селективно изключване на някои товари, може да се постигне стабилна работа на хибридна система с ВЕИ в двата режима на работа: пълна автономия или при свързаност с електрическа мрежа [Г10].
- 7.3. Направено е обзорно изследване на възможностите за използване на суперкондензатори за компенсиране флукуациите на мощността от ВЕИ [Г15].
- 7.4. Разработена е методика и експериментална постановка за определяне на параметрите на суперкондензатор и на заместващата еквивалентна схема [Г19].

- 7.5. Разработена е стратегия за компенсиране на флуктуациите на мощността на ветрогенератор с помощта на акумулатор и суперкондензатор, работещи едновременно. Създаден е симулационен модел на системата [Г20].
- 7.6. Разработен е алгоритъм и е създаден симулационен модел на система за компенсиране на флуктуациите на мощността на фотоволтаична система с помощта на суперкондензатор [Г40].
- 7.7. Разработени са алгоритми, според които се изчисляват заданията за мощност на компенсиращите източници в хибридна система с ВЕИ при промяна на първичните енергии (вятър и слънце), така че да се постигне непрекъснато захранване на товарите при минимални емисии на CO_2 [Г42], [Г47].
- 8. Създаване на научна инфраструктура за изследвания изследване на ветроенергийни и фотоволтаични системи в лабораторни и полеви условия.**
- 8.1. Създадени са модели и са реализирани два емулятора на вятърни турбини, които са вградени като елементи от два стенда за физическо моделиране на ВЕПС. Доказана е възможността реалната вятърна турбина в лабораторни условия да бъде заменена с електрически двигател с подходящо управление [Г39], [Г48].
- 8.2. Разработен е стенд (физически модел) за симулиране на работата на ветроенергийна преобразователна система със синхронен генератор с електромагнитно възбуждане и електронни преобразуватели [М3], [Г38].
- 8.3. Разработени са програми, работещи в реално време за управление на мощността на ВЕПС. Получени са резултати от експериментални изследвания, които потвърждават адекватността на разработените алгоритми и модели за управление, които са приложими за ВЕПС със синхронни генератори [М3].
- 8.4. Създаден е експериментален стенд с алтернатор за физическо моделиране на ВЕПС с малка мощност с електронни преобразуватели [М5], [Г29], [Г30].
- 8.5. Създаден е стенд за физическо моделиране на ВЕПС със синхронен генератор с постоянни магнити, изправител и еднофазен инвертор, свързан с мрежата [Г31].
- 8.6. Създадена е платформа за експериментално изследване на фотоволтаични генератори с инвертори, свързани към мрежата, и работещи при реални условия. Платформата е разположена на Експериментална площадка за изследване на ВЕИ на Технически университет-София [М8], [Г26].
- 8.7. Внедрена е уникална за страната микропроцесорна система за управление в реално време на процесите във ВЕПС и за събиране на данни в лабораторни условия dSPACE [М3], [М11].
- 8.8. Създаден е математически и симулационен модел на устройство за снемане на волт-амперни характеристики (ВАХ) на ФВ панели чрез зареждане на кондензатор. Реализирана е система за автоматизирано снемане на ВАХ на ФВ панели за ток до 10А и напрежение до 100V [Г27].
- 8.9. Създаден е стенд за експериментално изследване на фотоволтаични панели в лабораторни условия чрез изкуствено осветяване [Г33].
- 8.10. Разработен е емулятор на ФВ панели, който позволява симулиране на работата на ФВ панели в лабораторни условия [ПП2].
- 8.11. Създадена е опитна постановка за изследване възможностите за компенсиране флуктуациите в мощността от ВИЕ със суперкондензатори [Г20].

9. Изследване на електрически машини и системи за задвижване за електрически и хибридни автомобили.

- 9.1. Разработен е комплексен подход за моделиране и симулация на задвижващи системи със синхронен двигател с постоянни магнити, електронен преобразувател и управляваща подсистема. Разработен е цялостен симулационен модел на системата, който позволява нейното изследване в различни режими на работа. Разработен е модел на управление на СДПМ с прилагане на комбинация от две стратегии: максимален момент за ампер в първа зона и константно напрежение и константен ток във втора зона. Доказана е хипотезата, че двигател с постоянни магнити със синусоидално разпределение на магнитното поле и ЕДН може да работи и като БДПТ, но с по-ниски параметри. [Г6].
- 9.2. Предложено е усъвършенстване на съществуващ аналитичен метод за изчисляване на коефициента на полето в синхронен двигател с постоянни магнити чрез включване на допълнителен член, отчитащ влиянието на честотата върху циркуляционните токове в намотка с паралелни клонове. Получени са изчислителни и симулационни резултати за влиянието на различни параметри на намотката и честотата на тока в нея върху коефициента на полето [Г7].

Приносите имат и образователен аспект, защото при обучението на студентите по дисциплините, засягащи ВЕИ и преобразуването на енергията, се използват някои образователни похвати и научно-технически постижения, дискутирани в статиите.

Таблица с изпълнение на минималните национални изисквания и минималните изисквания от ПУРЗАД на ТУ-София за заемане на академичната длъжност „професор“

Група показатели	Минимален брой точки	Брой точки на кандидата	Брой точки по основни показатели от група	
А	50	50	Диплома за ОНС „доктор“ № 26254/16.08.1999г. Издадена от: Висша атестационна комисия Професионално направление: 5.2 Електротехника, електроника и автоматика Специалност: Електрически машини	
Б	–			
В	100	254	В3	
			В4	254
Г	250	334,5	Г5	
			Г6	
			Г7	77
			Г8	257,5
			Г9	
			Г10	
			Г11	
Д	100	551	Д12	530
			Д13	3
			Д14	18
			Д15	
Е	220	350	Е16	
			Е17≥40	40
			Е18	90
			Е19	60
			Е20	
			Е21	
			Е22	
			Е23	13,3
			Е24	6,7
			Е25	
			Е26	80
			Е27	
			Е28	
			Е29	60
Ж	120	509	Висше училище: Технически университет-София	
З	20	20		
Общо	860	2068,5		

Подпис:

/доц. д-р инж. З. Зарков/

SUMMARY

of scientific publications with the participation of Assoc. Prof. Dr. Zahari Zarkov presented for participation in competition for academic position "professor" in the professional field 5.2. Electrical Engineering, Electronics and Automation, specialty "Electric Machines", announced in State Gazette issue 93/26.11.2019

For the participation in the competition are presented 78 scientific publications of the applicant, which include:

- for the fulfilment of Group B indicators as equivalent to monograph, are presented 11 articles indexed in SCOPUS;
- for the fulfilment of Group D indicators are presented 8 publications, indexed in SCOPUS (one of which has SJR by ScimagoJR), and 40 publications in non-refereed scientific peer-reviewed journals;
- for the fulfilment of Group H indicators are presented 2 articles published in journals that have SJR by SCOPUS;
- there are also 5 articles that have been accepted for publication, not included in Group D points;
- 2 recognized patents;
- 1 university textbook;
- 1 university learning manual.

Of the scientific publications, 17 are in Bulgarian and 57 are in English. They have been published in international and Bulgarian scientific journals and periodicals, as well as in collections of scientific papers in foreign, international, national and university scientific forums.

International scientific papers have been published in international publications (Material Science Forum, Springer) and in proceedings of international scientific conferences - International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC 2010, 2012, 2016, Conférence Electrotechnique du Future «EF 2009», 7ème COLloque FRancophone en Energie, Environnement, Economie et Thermodynamique - COFRET'14, held in Ohrid, Novi Sad, Varna, Grenoble and Paris.

Articles have also been published in proceedings of international conferences in Bulgaria, such as International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA, International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA, Challenges in Higher Education & Research in the 21st Century, Colloque francophone sur l'énergie – environnement – économie et thermodynamique COFRET 2012.

In Bulgaria, articles have been published in the scientific journals Ecological Engineering and Environment Protection EEEP, Electrotehnica & Electronica E+E.

The rest are in periodicals of high schools.

Some of the articles were reported at conferences and then printed in journals, but they are only once entered the list of papers.

The applicant is a co-author of two recognized patents.

The participation of the applicant in 3 international and 12 national projects has been documented, with 3 of them being the project manager.

Reference is made to a total of 63 citations of the candidate's scientific papers.

Group B4. [MT1] Summary and contributions in submitted publications, equivalent to monograph work under the general title "Systems for generation and conversion of electric energy from renewable energy sources"

As an equivalent to monograph work, 11 articles are presented, which are indexed in SCOPUS.

- [M1] **Zarkov, Z.**, B. Demirkov. Power Control of PMSG for Wind Turbine Using Maximum Torque per Ampere Strategy. 15-th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 1-3 June 2017, Sofia, Bulgaria, pp. 292-297. doi: 10.1109/ELMA.2017.7955451 (SCOPUS).

The article presents a study of power management strategies for 2MW wind energy conversion system (WECS) consisting of a wind turbine, permanent magnet synchronous generator (PMSG) and electronic converter. The work focuses on the control of the generator in the area of operation of the turbine with variable speed. A combination of an algorithm for maximum power point tracking of the turbine (MPPT) and a strategy for controlling the power of the generator with maximum torque per ampere (MTPA) is used. The mathematical models used for the turbine, MPPT, generator, converter, as well as an algorithm for determining the optimal references for generator currents in the dq coordinate system for the implementation of MTPA are presented. The operation of the generator was compared with application of MTPA and ZDAC (Zero d-axis Control), and it was shown that the electrical losses in the machine are reduced when operating with MTPA. The results of simulations under different operating conditions of the system are presented, which are determined by predefined wind speed profiles over time.

- [M2] Demirkov, B., **Z. Zarkov**. Study of Two MPPT Methods for High Inertia Wind Turbine with Direct Driven PMSG. 2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Bourgas, 2018, doi: 10.1109/SIELA.2018.8447164 (SCOPUS).

The article presents a study of methods for maximum power point tracking (MPPT) of a high inertia wind turbine. Mathematical and simulation models of two of the most commonly used MPPT methods are developed - with optimum tip speed ratio (TSR) and with optimum torque control (OTC). A complete model of WECS is developed including turbine, PMSG, electronic back-to-back converter connected to a power grid. The main focus of the paper is the study and comparison of the operation of the two MPPT methods, when combined with a generator control strategy for maximum torque per ampere and the inclusion of the entire energy conversion chain. The results of simulations under different operating conditions of the system with given profiles of wind speed variation are presented: for the study of dynamics with stepped changes and realistic for the study of energy production.

- [M3] Demirkov, B., **Z. Zarkov**. Study of physical model of WECS with synchronous generator and back-to-back converter. 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, doi:10.1109/ELMA.2019.8771656 (SCOPUS).

A physical model designed to simulate the operation of a wind power conversion system with a synchronous generator is presented. The stand includes: a wind turbine emulator with DC motor and electronic converter; synchronous generator with electromagnetic excitation; two transistor three-phase converters connected via DC line (back-to-back structure); sensors and electronic circuits for converter control; dSPACE D1104 microprocessor control and data

acquisition system. Real-time power control programs for WECS are, including an MPPT algorithm, maximum torque per ampere strategy for generator power control, and a vector control for grid-connected converter. The results of experimental studies have been obtained that confirm the adequacy of the developed algorithms and control models that are applicable to WIEC with synchronous generators.

[M4] **Zarkov, Z.**, I. Bachev, L. Stoyanov, V. Lazarov. A Study of Parallel Structures of DC-DC Converters for Application in Wind Energy Conversion Systems. 2016 IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), 25-30 Sept. 2016, Varna, Bulgaria, pp.32-37. 10.1109/EPEPEMC.2016.7751970 (SCOPUS).

The presented work studies and compares different parallel DC-DC converters with common input and output voltages. The topologies selected are suitable for variable speed wind energy conversion systems. Circuits of boost converter, non-inverting buck-boost converter and SEPICs (Single-Ended Primary Inductor Converter) are investigated. Parallel structures consist of two identical converters with common input and output voltages and PWM interleaved control. Based on the detailed mathematical models proposed, simulation models are developed in the Matlab/Simscape environment. Simulations are performed to obtain the current and voltage waveforms at different points of the converters. The maximum voltages of the transistors and diodes in the converters are compared. The RMS values of the currents in the most important elements of the circuits are calculated and comparisons and conclusions drawn.

[M5] **Zarkov, Z.**, V. Lazarov, I. Bachev and L. Stoyanov. Theoretical and Experimental Study of Interleaved Non-Inverting Buck-Boost Converter for RES. 2018 International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech), Sofia, 2018, pp. 1-5. doi: 10.1109/HiTech.2018.8566632 (SCOPUS).

The article is devoted to the theoretical and experimental study of a parallel non-inverting buck-boost converter (NIBBC) designed for use in RES systems. A detailed mathematical model in the state space is proposed. A simulation model is developed. Simulations are carried out and results are shown for the forms of currents and voltages at different points in the circuit under different operating modes. The behavior of the scheme in the presence of a difference in the duty ratio of the control pulses of the two converters is investigated. A laboratory model of the converter and control is created, with which experimental studies are carried out. The results show that the tested parallel converter can successfully operate at a wide range of input and output voltages. This makes the NIBBC particularly suitable for low-power (up to several kilowatts) WECS applications where it is necessary to adapt the generator output to different loads.

[M6] **Zarkov, Z.**, I. Bachev, V. Lazarov. Small Wind Generator System with Non-Inverting Buck-Boost Converter and Battery Storage. 15-th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 1-3 June 2017, Sofia, Bulgaria, pp. 298-303. doi: 10.1109/ELMA.2017.7955452 (SCOPUS).

This article examines low-power WECS consisting of: wind turbine, permanent magnet electric generator, DC-DC converter, battery and autonomous load. The electric generator is modified by the authors car alternator whose excitation coil is replaced by a rare earth magnet (NeFeB). An MPPT algorithm is included in the system, which regulates the power of the turbine by controlling the load current of the generator. This is achieved by controlling the input current of the DC-DC converter. Mathematical and simulation models of the system are developed. Simulations are performed for four different battery voltages and change in the wind speed to show

that power control algorithms provide good performance and good dynamic behavior. The results provide a basis for optimum choice of voltage and battery capacity, as well as for selecting or designing a suitable generator for a given wind turbine and output voltage.

- [M7] Stoyanov, L., **Z. Zarkov**, I. Draganovska and V. Lazarov. Methods for Energy Production Estimation from Photovoltaic Plants: Review and Application. 2018 International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech), Sofia, 2018, pp. 1-5. doi: 10.1109/HiTech.2018.8566638 (SCOPUS).

The article reviews and summarizes the main known methods for assessing the power and performance of photovoltaic (PV) power plants - physical, statistical and hybrid. The main purpose of this review is to select an approach and to develop an appropriate model for estimating the power output of an existing PV plant with amorphous silicon panels. The experimental system is a photovoltaic plant, installed near Oryahovo village, Haskovo district, with a total installed capacity of 1.31MW. The Durisch model is chosen because it gives good results with different types of PV panels. In addition, the model is suitable for predicting the performance of PV panels for future periods based on meteorological data. The calculations with the developed model for amorphous silicon panels are performed using real time and plant information. The model is tested by calculating the power output of the plant for days with different meteorological conditions and comparing the results with the actual measured power under the same conditions.

- [M8] **Zarkov, Z.**, L. Stoyanov, V. Milenov, H. Voynova, V. Lazarov. Modeling of PV Generators from Different Technologies – Case Study. 2016 IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), 25-30 Sept. 2016, Varna, Bulgaria, pp. 419-424, doi: 10.1109/EPEPMC.2016.7752034 (SCOPUS).

The article presents a theoretical and experimental study of photovoltaic generators with five different types of panels that are connected by single-phase inverters to the power grid. All generators have almost the same power and are installed in the same place in Sofia. Efficiency of photovoltaic modules is calculated by the Durisch model, using two approaches - with and without taking into account the air mass. It is proven that the influence of air mass in the model can be neglected and the error remains acceptable. Based on the results of the study, conclusions are drawn about the performance of the various PV panels under actual meteorological conditions. A model of single-phase inverter for grid connection is developed, which calculates the efficiency by the input power of the inverter. The output power of a PV generator consisting of panels and an inverter is made using the combination of panel and inverter models. A comparison of the results obtained with the experimental data shows a very good agreement.

- [M9] Stoyanov, L., I. Draganovska, G. Notton, **Z. Zarkov**, V. Lazarov. Modelling PV Panels: Case Study of Oryahovo, Bulgaria. 15-th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 1-3 June 2017, Sofia, Bulgaria, pp. 91-95. doi: 10.1109/ELMA.2017.7955408 (SCOPUS).

The purpose of this study is to develop an adequate model that calculates the efficiency and the output power of a string consisting of 4 thin-film silicon PV modules under different climatic conditions. This string is part of a large PV plant consisting of 820 such strings. The total maximum power of one string is 1600Wp. The study is based on the Durisch model and uses data collected by the SCADA system from a real photovoltaic plant. Efficiency of the PV system and the power generated are calculated with the original Durisch model and with a modified model developed by the authors. Solar radiation in the plane of the panels and the temperature of the panels, as well as

the empirical coefficients for the approximation of the efficiency curve, are used as input. The theoretical results for the output power are compared with experimental data. The comparison shows that the influence of the air mass taken into account in the original model can be neglected without a significant loss of accuracy.

[M10] Milenov, V., **Z. Zarkov**, B. Demirkov, I. Bachev. Modeling of electrical characteristics of various PV panels. 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, doi:10.1109/ELMA.2019.8771692 (SCOPUS).

The article presents a mathematical and simulation model for calculating the voltage-current characteristics of PV panels and PV generators at a given solar radiation and cell temperature. The model is applied to PV panels of five different types, which are manufactured using different technologies and materials. An approach is developed to determine the efficiency of PV panels under arbitrary operating conditions (solar radiation and cell temperature) based on the model of voltage-current characteristics. Computational results are presented for the current-voltage characteristics of PV panels of five different types under different operating conditions, which are compared with experimental data and very good matches are obtained.

[M11] **Zarkov, Z.** Application of dSPACE Platform in the study of electric generators with RES. 2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Bourgas, 2018, doi: 10.1109/SIELA.2018.8446654 (SCOPUS).

The article presents the possibilities of application of the dSPACE microprocessor platform for the study of renewable energy generators. The platform consists of hardware and software that allow easy and fast programming and testing of user control and simulation programs. One very important option is the integration with Matlab/Simulink RTI, which allows rapid prototyping of the control algorithms developed in Simulink. The author presents his experience with the dSPACE modules DS1104 and DS1103, which are used in the Laboratory of Renewable Energy Sources (Electrical Aspects) at the Faculty of Electrical Engineering at the Technical University of Sofia. The dSPACE platform is mainly applicable to the control of electronic converters for electricity produced by RES. The results prove that the platform is very useful for quickly testing and implementing control algorithms developed in Matlab/Simulink. In addition, the hardware and software provided enable real-time data acquisition, which reduces the need for additional measuring equipment.

Group Г7. Scientific publications in editions that are referenced and indexed in world-renowned scientific information databases (SCOPUS)

Г1. Lazarov, V., D. Roye, **Z. Zarkov**, D. Spirov. Analysis of DC converters for wind generators. Proceedings of the XVI International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA2009, Vol. 2, 4–6 June 2009, Bourgas, Bulgaria, 2009, pp. 157-164 (**SJR=0.1, 2010**).

The article presents a model a diode rectifier and DC/DC boost converter working in conjunction with synchronous generator. The system is intended for use in a variable speed wind generator. The models are developed in Malab/Simulink and PSPICE environments. The modeled converters have been fabricated and an experimental study has been carried out. Comparisons between the results of simulations and experiments are shown and a very good match is found between them. The currents and voltages of the synchronous generator and electronic converter

under different operating modes are simulated. The losses in the converter are estimated depending on the load. An experimental measurement of the losses in the generator during operation with a diode rectifier and when working with an active load was carried out, and the decrease in the efficiency was estimated.

- Г2. Lazarov, V., D. Roye, D. Spirov and **Z. Zarkov**. New Control Strategy for Variable Speed Wind Turbine with DC-DC converters. Proceedings of 14th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC 2010, 6-8 September 2010, Ohrid, Macedonia, pp. T12-120-T12-124. doi: 10.1109/EPEPEMC.2010.5606570

The subject of this article is the study of behavior of a variable speed wind turbine configuration including permanent magnet synchronous generator, diode rectifier, non-inverting buck-boost converter, and a load. A simulation model of the entire system is developed, with the main focus being on the modeling of the DC/DC converter and the controller for the power of the generator. The authors defined two types of control: maximum power point tracking (MPPT) of the turbine and control for operation with limited power using only a certain percentage of the available wind energy. Models of MPPT controller using perturb and observe method and of the limited power point controller are developed. Results of simulations with the developed models under different operating conditions with variable wind speed are presented. The results show the good performance and correct behavior of the controllers in both operating modes - with MPPT and with limited power. The method is applicable for the operation of wind turbines in the presence of over-production of electricity.

- Г3. Lazarov, V., D. Roye, D. Spirov, **Z. Zarkov**. Study of control strategies for variable speed wind turbine under limited power conditions. Proceedings of 14th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC 2010, 6-8 September 2010, Ohrid, Macedonia, pp. T12-125-T12-130. doi: 10.1109/EPEPEMC.2010.5606574.

The article presents a study of a wind energy conversion system (WECS) consisting of: variable speed wind turbine, permanent magnet synchronous generator, diode rectifier, boost DC/DC converter and a load. Control of the electronic converter for operation with constant output power at variable wind speed is defined. A MPPT controller and a constant power controller based on fuzzy logic are developed. Results of simulations with variable wind speed are presented. The results show the good performance and proper behavior of the system in both modes of operation - with MPPT and when operating at constant power. The method is applicable for the operation of wind turbines in the presence of over-production of electricity.

- Г4. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, G. Notton. Wind turbine with doubly fed induction generator operating at limited power point. 2012 15th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC), Novi Sad, Serbia, 2012, pp. DS2d.2-1-DS2d.2-7. doi: 10.1109/EPEPEMC.2012.6397304

The article presents a study of WECS consisting of a variable-speed wind turbine and doubly-fed induction generator (DFIG) with electronic converters in the rotor circuit. A simulation model of the entire system in the Matlab/Simulink environment is developed. Two methods of power control are defined: MPPT – with maximum power of the turbine using predefined wind power curves and control for operation with limited power using only a certain percentage of the available wind energy. Results of simulations under different operating conditions with variable wind speed are presented. The results show the good performance and proper behavior of the

controllers in both MPPT and limited power modes. The method is applicable for the operation of wind turbines in the presence of over-production of electricity.

- Г5. Stoyanov, L., **Z. Zarkov**, V. Lazarov, I. Bachev, B. Demirkov, G. Notton, A. Damian. Hybrid System Sizing using per unit Approach - Application to Bulgaria, France and Romania. 2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Bourgas, 2018, doi: 10.1109/SIELA.2018.8447072

The article presents the implementation of an approach for sizing a hybrid grid system with photovoltaic and wind generators for different sites located in Bulgaria, France and Romania. The approach is based on the use of per unit system for the power generated and the energy produced. Weather data for a given location are used as input values. For each country, a specific load schedule is used that takes into account the specificities of the countries. The annual energy balance is used as a criterion for determining the configuration of the hybrid system. The results show that for the sites under consideration in Bulgaria and France it is possible to create a balanced hybrid system with photovoltaic and wind generators, while for the selected location in Romania it is impossible with these combinations of generators and loads due to insufficient primary energy potential.

- Г6. **Zarkov, Z.**, V. Lazarov, P. Rizov, L. Stoyanov, E. Popov. An approach for modeling the electronic converter-motor system for electric vehicles. 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, doi:10.1109/ELMA.2019.8771484

This article presents a comprehensive approach for modeling and simulating a propulsion system incorporating an inverter and a permanent magnet synchronous motor (PMSM) for use in electric vehicles. The motor is analyzed by the finite element method (FEM) using a two-dimensional model. Motor parameters (synchronous inductances and permanent magnet flux) are determined based on the results of the FEM analysis. A complete simulation model in Matlab/Simulink is developed to study the complete drive system, which also includes the converter control system and controller for the torque and speed of the motor. The motor is controlled by application of maximum torque per ampere (MTPA) strategy in the first zone up to the base speed and with maximum torque at constant voltage and constant current in the second zone. The simulation calculates the characteristics of the motor in two modes of operation - as a synchronous motor (with sinusoidal currents) and as a BLDC motor (with rectangular currents). Based on the results it is concluded that the use of the motor as a PSDM is a better choice because of the higher torque, the wider range of high speeds and the much lower torque ripples.

- Г7. Stoyanov, L., V. Lazarov, **Z. Zarkov**, E. Popov. Influence of skin effect on stator windings resistance of AC machines for electric drives. 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, doi:10.1109/ELMA.2019.8771551

The paper presents a study of the skin effect on the stator winding resistance of AC machines designed for electric vehicles. The aim of the study is to evaluate theoretically the influence of the machine design on the field coefficient, which influences the active resistance of the coil. The methods for calculating the field coefficient are reviewed and compared and the appropriate method is selected. The influence of different winding parameters and frequency of current on the field coefficient is investigated. The results of the study show that it is necessary to find a compromise between the low values of the field coefficient and the low height of the elementary conductors.

The influence of circulating currents is estimated using the original formula and the authors' hypothesis for considering the effect of frequency on circulating currents. The results show some guidance on the design of the windings of electric car machines and need experimental verification, which will be the subject of further studies.

- Г8. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, I. Bachev. Determination of the synchronous inductances of a claw pole alternator. 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, doi:10.1109/ELMA.2019.8771543

The article is devoted to the determination of synchronous inductances of generators with claw poles. Different methods are used for this purpose: 3D finite element analysis (FEM); analytical determination of inductances using an equivalent magnetic circuit; experimental study. The study is performed on two types of machines: alternator with claw poles with excitation coil and modified alternator with claw poles with rare earth magnets. A physical and analytical explanation of the differences in synchronous inductances in the two generators studied is proposed. The comparison between calculated and experimentally obtained values shows that all the methods used give comparable results. The synchronous inductance values obtained from the various tests are to be close, with differences not exceeding 15%. This proves the correctness of the theoretical approaches used and the results obtained.

Group Г8. Scientific publications in non-indexed journals with peer reviewing and collective editions

- Г9. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, H. Kanchev. Grid-connected single-phase inverter for renewable energy sources. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 59, book 2, 2009, pp. 122-130. ISSN 1311-0829

The article is devoted to the study of a single-phase inverter for grid connection of generators using RES. The principles of energy exchange between the inverter and the grid and for matching the input and output power in order to maintain the energy balance of the system are justified. A computer model of the inverter is developed that allows the operation with variable input power by changing the output current of the inverter. The model includes the inverter power section, PWM, DC voltage controller, output current controller, PLL based grid synchronization module. The results of the simulations are presented, which demonstrate the adequacy of the model and its performance when changing input power. A real-time program for the dSPACE microprocessor system is, with which experimental studies are conducted. The results of the simulations and experiments prove the physical adequacy of the model and allow its use as an element in RES generation systems.

- Г10. François, B., V. Lazarov, G. Notton, L. Stoyanov, **Z. Zarkov**, H. Kanchev. Energy flows management of a hybrid system with renewable energy generators. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 59, book 2, 2009, pp. 112-121. ISSN 1311-0829

The article presents an overview of the problems involved in providing an uninterrupted power supply to an autonomous system that includes renewable energy sources (RES). Technologies that can be used to compensate the fluctuations in energy produced by renewable energy are presented. Given the volatile nature of RES power, various strategies for managing generators and energy storage devices in an autonomous system are discussed. The management of energy flows in a hybrid energy system, according to the mode of operation and the availability of primary resources, requires the solving of complex tasks for optimization and technical and

economic analysis. Experimental results have been presented to show that with properly calculated generator capacities and selective switching off of some loads, stable operation of the hybrid system can be achieved. An important aspect that requires further research is the ability to switch from offline to grid connectivity.

- Г11. Lazarov, V., L. Stoyanov, K. Bundeва, **Z. Zarkov**, D. Spirov. Modeling and simulation of squirrel cage induction generator. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 59, book 2, 2009, pp. 84-93. ISSN 1311-0829

The article presents the implementation of a model of induction machine with squirrel cage rotor in Matlab/Simulink. The machine model according to the general theory of electric machines is presented. From both systems of equations modeling the electromagnetic processes in an induction machine, a model is derived in the state space with currents as state variables. A motion equation is added to this system, which makes the model of the induction machine complete. To test the model, data from a 1.5kW machine are used. Various simulations are carried out to prove the correct and stable operation of the model. The following scenarios are simulated: calculation of mechanical characteristic, abrupt change of operating mode (from motor to generator), stepwise and gradual change of the mechanical torque, as well as simulation with wind turbine. Comparisons of different quantities obtained in a simulation and experimentally are presented. Given the assumptions made in the model, the comparison shows satisfactory accuracy.

- Г12. Lazarov, V., L. Stoyanov, K. Bundeва, **Z. Zarkov**, D. Spirov. Modeling and simulation of wound rotor induction generator. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 59, book 2, 2009, pp. 94-102. ISSN 1311-0829

The article presents the modeling of an induction machine with a wound rotor. A circuit with connected active resistances in the rotor circuit of the machine is being considered. A model in a synchronously rotating coordinate system in state space with currents as state variables is developed. The equation of motion is added to this system. Two simulations are presented to confirm the correct and stable operation of the model - a stepwise change in the input mechanical torque and a simulation with wind turbine. Comparison is made of stator and rotor values from simulations and from experiments on two experimental sets with different machines - with power of 1.5 kW and 6 kW. Satisfactory accuracy of the fit between the theoretical and experimental results is obtained.

- Г13. Lazarov, V., D. Spirov, **Z. Zarkov**, L. Stoyanov. Modeling and simulation of synchronous generator. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 59, book 2, 2009, pp. 103-111. ISSN 1311-0829

This article presents the modeling of a synchronous generator in the Matlab/Simulink environment. The principle of converting a three-phase real synchronous machine into a fictive two-phase machine is described. The corresponding model equations are presented. Based on these equations, the program model in the state space is obtained. Machine fluxes are used as state variables. The complete model is obtained by adding the motion equation. For the verification of the model, simulations are carried out with data for a 1.5kW synchronous generator with electromagnetic excitation. Simulation results are presented with a sudden change in the input mechanical torque and with variable torque from a wind turbine. The results meet theoretical expectations.

- Г14. Lazarov, V., G. Notton, L. Stoyanov, **Z. Zarkov**. Modeling of doubly fed induction generator with rotor-side converter for wind energy conversion application. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 60, book 1, 2010, pp. 289-298. ISSN 1311-0829

The article presents the modeling of a doubly-fed induction generator with an electronic converter on the rotor side. The operating modes of the complete configuration with an electronic converter in the rotor circuit connected to the AC grids and the exchanged energy flows are described. A special case is considered in which the grid-side inverter is replaced by a direct current source, which does not disturb the operation of the machine. The coiled rotor induction machine is modeled by equations system with fluxes as state variables. The model of the electronic converter is realized with the assumption that the semiconductor devices are ideal switches. The operation of the electronic converter control system is described, which ensures operation with a given reference for stator power of the generator. The results of simulations of step changes of the stator active and reactive power references are presented. In both cases, a rapid response of the control system is observed, thanks to which the correct and stable operation of the implemented model can be evaluated.

- Г15. Lazarov, V., B. François, H. Kanchev, **Z. Zarkov**, L. Stoyanov. Applications of supercapacitors in hybrid systems. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 60, book 1, 2010, pp. 299-310. ISSN 1311-0829

This article describes the applications of supercapacitors in hybrid renewable energy systems, as well as in other energy storage devices. Supercapacitors are suitable for compensating fluctuations in the power of renewables due to the volatile nature of the primary resource. Different structures of hybrid generators consisting of different renewable energy sources, electronic converters and supercapacitors are considered.

- Г16. Lazarov, V., D. Roye, D. Spirov, **Z. Zarkov**. Output power control for variable speed wind generators. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 60, book 1, 2010, pp. 311-320. ISSN 1311-0829

The article studies the operation of a wind energy conversion system, consisting of: synchronous generator with permanent magnets, diode rectifier, boost DC/DC converter and a load. The authors proposed two control strategies: operation at turbine maximum power point (MPPT) and operation with limited point (LPPT) that is less than the maximum possible. The control is realized by regulating the input current of the DC converter. Fuzzy logic power controllers have been developed that give very good results for control of nonlinear systems. The operation of models and control systems for WECS is simulated at variable wind speeds. The results prove the reliability and effectiveness of the new strategy for managing the output of HPP.

- Г17. V. Lazarov, **Z. Zarkov**, D. Spirov. Modeling of PWM rectifier for wind energy conversion sistem with synchronous generator. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 60, book 1, 2010, pp. 321-331. ISSN 1311-0829

A computer model is created in the Matlab/Simulink of an active three-phase PWM rectifier operating in conjunction with a synchronous generator designed to operate with variable speed turbine. The model includes the generator and the active rectifier, together with the controllers of current and DC voltage at the output of the rectifier. The generator current regulator operates in a dq coordinate system with separate control of the active and reactive components of the current. The chosen method Voltage Oriented Control. The synchronization scheme uses a phase-locked system - PLL. The model developed allows to control independently active and reactive power exchanged with the generator if necessary. Results of simulations with the developed model at variable speed of the generator and at change of load are shown.

- Г18. V. Lazarov, **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, D. Spirirov. Maximum power operation of wound rotor asynchronous machine for wind generator. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 61, book. 2, 2011, pp. 133-142. ISSN 1311-0829

The article presents the modeling of a wind energy conversion system with a doubly-fed induction generator and control systems for maximum power. The models of a wind turbine and an intermediate DC link have been added to the model of a doubly-fed induction generator with an electronic converter in the rotor of a previous publication [Г14], thus forming a complete model of a WECS with DFIG. To the rotor side converter control system ensure the operation at maximum power point using a predefined curve to set the stator power. The full model is implemented in the middle of Matlab/Simulink. The wind turbine power coefficient is selected as a criterion for evaluating the proper operation of the control systems. It is exemplified by a variable input power simulation for the generator that resembles wind change.

- Г19. V. Lazarov, **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, H. Kanchev. Experimental testing of supercapacitors and evaluation of their parameters. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 61, book 2, 2011, pp. 143-152. ISSN 1311-0829

The article describes an experimental study of a supercapacitor in order to determine its parameters and derive the parameters of its equivalent circuit. The test procedures that are used to determine the parameters of supercapacitors are discussed. An experimental test bench for study of supercapacitors is. Experimental results are presented. Based on the measured and registered values, the capacitor capacity, the series and the parallel resistance of the equivalent circuit are calculated.

- Г20. V. Lazarov, **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, H. Kanchev. Study on possibilities of compensating wind generator power fluctuations with supercapacitors. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 61, book 2, 2011, pp. 153-162. ISSN 1311-0829

The article discusses the possibilities of compensating the power fluctuations of generators using RES with supercapacitors. Possible structures of a hybrid system with renewable energy sources and storage devices are presented. A strategy is developed to compensate for the fluctuations in wind power output with the help of a battery and supercapacitor operating simultaneously. A model has been created including: supercapacitor, DC-DC converter, DC line and power controller in Matlab/Simulink environment. The results of simulations with supercapacitor power varying over time, which would be required by the fluctuation compensation system, are presented. An experimental design is created to investigate the possibilities of compensating the power fluctuations of RES generators using a supercapacitor. Experimental studies show that by using a supercapacitor in the structure presented in the report, short-term compensation of changes up to 100% of the wind turbine's rated power can be achieved, and thus the generator can provide continuous load supply.

- Г21. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, H. Kanchev. Modeling of photovoltaic panels for MPPT purposes. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 63, 2013, book 2, pp. 341-350. ISSN 1311-0829

The article presents the modeling of a photovoltaic (PV) panel and the analysis of the panel's operation under various meteorological conditions in order to prepare control surfaces for following the maximum power point. Based on the review of the models, one with single diode was selected because of its simplicity and satisfactory accuracy. A model with serial and parallel impedance is presented, taking into account the losses in the wires between the panel and the connection point to the load.

The parameters of the model are determined based on experimental data collected from an experimental set-up with PV panels. With the ready-made model simulations are performed under

different meteorological conditions to illustrate the effect of temperature and solar radiation on I-V characteristics. Using the obtained results, control 3D surfaces for electronic converters with different types of reference (current and voltage) of their control systems are synthesized.

- Г22. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, H. Kanchev, B. François. Grid-connected PV system with MPPT control. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 63, 2013, book 1, pp. 357-366, ISSN 1311-0829.

The article deals with a photovoltaic system connected to the electrical grid that uses a controller to track the maximum power point. The system consists of a PV array, boost DC/DC converter and an inverter for connection to the grid. A detailed simulation model of the system is developed, together with the control for two cases - a low-power system with a single-phase inverter and a powerful system with a three-phase inverter. Two MPPT algorithms have been developed and tested - based on predefined curves and using fuzzy logic. The results of simulations are shown to prove the model's operability under dramatically changing weather conditions and the adequacy of the approaches chosen. The simulation results of the single-phase inverter system are compared with experimental data, yielding a maximum deviation of 22%.

- Г23. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, H. Kanchev, B. François. Grid connected photovoltaic systems with limited output power control. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 63, book 2, 2013, pp. 331-340, ISSN 1311-0829.

The article presents a strategy for limiting the output of a photovoltaic system connected to the grid. There are two possibilities to achieve this - with previously known power tables, which operate at a certain percentage of the available maximum power and with fuzzy logic, which maintains a constant output power of the system. Controllers are developed using predefined power curves and fuzzy logic for operating at constant output power. Simulation results of the system are shown, which prove the operability and adequacy of the developed models. Limiting the output from a photovoltaic installation is a measure that is used mainly in extreme situations where the stability of the electricity system is threatened. So far, this is done either by completely shutting down the PV installation or by disconnecting certain arrays from the network.

- Г24. **Z. Zarkov**, V. Milenov, Y. Nenova, S. Rafailov. Comparative study of thin film photovoltaic modules. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 63, book 5, 2013, pp. 321-330, ISSN 1311-0829.

The article presents a theoretical-experimental comparative study of four types of thin-film PV modules made from different semiconductor materials (aSi, CdTe, CIGS). Comparisons were made of the electrical characteristics of a unit cell with an area of 1cm^2 from each module obtained by calculations based on the manufacturers' data. The current density of the amorphous and microcrystalline silicon modules was found to be more than twice that of the CdTe and CIGS modules. The latter work with current densities in cells that are closer to those of crystalline Si cells. The volt-ampere characteristics (I-V) of the modules under field conditions - different solar radiation and temperature - were recorded. Characteristics are also recorded for two types of shading. The results for some of the modules show significant differences from the manufacturer's I-V curves. Microcrystalline silicon technology allows for efficiencies about 50% higher than that of amorphous silicon. The relatively new CdTe and CIGS materials now allow an efficiency close to that of crystalline Si cells and much higher than that of amorphous Si.

- Г25. L. Stoyanov, **Z. Zarkov**, H. Kanchev, V. Lazarov. Facade photovoltaic installation productivity estimation. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 63, book 6, 2013, pp. 77-84, ISSN 1311-0829.

This article examines the facade-integrated monocrystalline silicon photovoltaic modules. The purpose is to calculate the energy produced at different orientations of the modules provided by the selected building. A methodology for converting solar radiation data onto a horizontal surface into data for the actual radiation received from the modules is presented. A methodology for determining the energy produced by photovoltaic panels is described, which is presented in detail in previous works of the author's team. Both methodologies are applied to a specific building. The options considered are for a horizontal roof layout, a 30° slope with minimal shading, and a vertical arrangement on the three facades in contact with solar radiation. Vertical placement significantly reduces the energy produced by the panels.

- Г26. **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, V. Lazarov, H. Kanchev. Platform for research on PV generators with solar trackers. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 64, book 3, 2014, pp. 173-182. ISSN 1311-0829

This article describes the development and implementation of an experimental photovoltaic research platform. The platform is located on the Experimental site for RES research behind the 4th block of Technical University-Sofia. The platform consists of three solar trackers with five photovoltaic generators mounted on them with modules made using different technologies and materials. All PV generators are connected to the grid with single-phase inverters. Sensors connected to the Sunny Sensor box are mounted to record the ambient temperature, wind speed, temperature of the PV panels and the solar radiation of each of the three trackers. The data is collected in a dedicated Sunny Webbox device that is connected via a local area network to a PC. Remote data access and inverter settings can be done from a computer using the Webbox platform through an Internet browser. The platform offers great possibilities for comparative, quantitative and qualitative studies of PV systems and their elements in different modes of operation. In addition, the platform provides opportunities for future improvements and further development.

- Г27. **Z. Zarkov**. A system for solar modules I-V characteristics measurement. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 64, book 4, 2014, pp. 219-228. ISSN 1311-0829

The system of automated capture of I-V characteristics of photovoltaic modules is presented by the author. The idea of the device is to record the values of current and voltage after connecting the panel to a discharged capacitor and then to draw the current dependence on the voltage. In order to check the adequacy of the idea and capabilities of the device, a model in Matlab/Simulink is developed, with which various simulations were made. The implemented system consists of: power part with capacitors and switches; voltage sensor; current sensor; analog-to-digital conversion unit and PC. The LabView environment is used to develop the virtual instrument for control, measuring, visualizing and recording data. The article shows circuits of the current and voltage sensors developed by the author, as well as the results of their calibration and verification of the accuracy of the conversion. The results of measurement of the I-V curves of 4 different PV panels taken under the same conditions are presented. Although the characteristics of the panels differ, the measuring system did very well in all cases. The system allows for rapid digital registration of the I-V curves under real working conditions of the panels, ensuring the persistence of external factors - temperature and solar radiation. The system is mobile and relatively inexpensive.

- Г28. **Z. Zarkov**, B. Demirkov, L. Stoyanov, I. Bachev, V. Lazarov. State and development of modern wind energy conversion systems - part I and II. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 67, book 1, 2017, pp. 311-319, 320-330. ISSN 1311-0829

The article presents an overview of the current state of wind energy conversion systems (WECS) and shows the trends of their development. Information is provided on the share of wind energy produced worldwide. An overview and comparison of the types of electric generators used in WECS and the distribution of their market shares are made. The possibility of applying new types of generators such as brushless and superconducting is affected. Current configurations of WECS are considered. The classification of power electronic converters used in wind generators is made. The most commonly used converter circuits are shown, as well as perspective ones - parallel converters, cascade converters, matrix converters. Basic information on the control of the individual subsystems in the WECS is given. Trends in the development of modern wind turbines are indicated, such as: increase of the capacity of the single wind generator; switching to medium voltage generators and converters; switching to the use of permanent magnet synchronous generators; switching to direct drive of the generator; the gradual introduction of power electronic elements from silicon alternative materials - SiC (silicon carbide) and, in the future, from GaN (gallium nitride); widespread use of electronic converters in low-power WECS.

- Г29. **Z. Zarkov**, I. Bachev, B. Demirkov, V. Lazarov. Experimental study of alternators for applications in wind energy conversion systems. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 67, book 1, 2017, pp. 331-340. ISSN 1311-0829

The article presents the results of an experimental study of a car alternator with claw poles with a view to its application in WECS. An experimental bench for study of alternators is presented. The characteristics and parameters of the machine are obtained and the possibility of its operation in low power WECS has been investigated. Based on the characteristics and parameters obtained from the study, a mathematical model is chosen to describe the alternator as a synchronous machine with electromagnetic excitation. A simulation model of the alternator in the Matlab/Simulink environment is developed. The simulation results are compared with the experimental data and a good match is observed.

- Г30. **Z. Zarkov**, I. Bachev, B. Demirkov, V. Lazarov. Experimental study of alternator with permanent magnets. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 67, book 1, 2017, pp. 341-350. ISSN 1311-0829

This article introduces the creation of an alternator with claw poles excited by rare earth magnets. For this purpose, a car alternator is modified and its excitation coil is replaced by a ring-shaped permanent magnet of rare earth materials (NdFeB). An experimental study of the modified alternator is carried out, its characteristics were obtained, and the possibility of its operation in low power WECS was investigated. The main characteristics of the excitation coil and the permanent magnet alternators are compared, with great similarity between them. Based on the experimental data and the generalized theory of electrical machines, a suitable mathematical model of the alternator is chosen, which is considered as a synchronous machine with permanent magnets. A simulation model of the alternator in the Matlab/Simulink environment is developed. The simulation results are compared with the experimental data and a good match was obtained. Replacing the excitation coil is expected to increase the efficiency of the alternator due to the elimination of excitation losses.

- Г31. **Z. Zarkov**, V. Lazarov, L. Stoyanov, I. Bachev, B. Demirkov. Physical modeling of wind energy conversion systems with permanent magnet synchronous generators. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 68, book 1, 2018, pp. 263-272. ISSN 1311-0829

The article presents a laboratory bench for the physical modeling of a wind energy conversion system (WECS) developed and implemented by the authors. The stand uses a state-of-the-art permanent magnet synchronous machine. The bench corresponds in its structure and elements to a real WECS. In most laboratories, it is impossible to install megawatt machines, such as the capacities of today's large WECS. The modeling and exploration of such powerful wind generators can be done through stands that represent scaled-down physical models corresponding to large wind turbines. The article presents the structure of the stand and briefly describes its main elements: drive, generator, rectifier, inverter, tuning and monitoring system. Users have the option of setting different inverter power curves corresponding to the maximum wind turbine power. Experimental studies with the bench are carried out and some of the main results obtained are shown. The results show that the parameters of the main elements of the stand are well matched for the actual operation of the system. This makes it possible to study the operation of the WECS at variable wind speeds, both in short-term transient modes and for extended periods of time.

- Г32. L. Stoyanov, **Z. Zarkov**, V. Lazarov, I. Draganovska. Assessment of the energy yield from photovoltaic power plant. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 68, book 1, 2018, pp. 273-282. ISSN 1311-0829

The article presents the calculation of output power generated by a plant with thin-film PV panels of amorphous silicon. For the calculation of the power of PV panels, a modified Durisch model with pre-calculated empirical parameters is used. The losses in the DC power converters and inverters at the plant through the corresponding mathematical models are taken into account. In addition, an analysis of the errors registered by SCADA has been performed to improve the accuracy of the model. The Durisch and the inverter models calculate the power output of the plant for days with different atmospheric conditions. The results obtained are compared with the values actually measured. A comparison is made of the DC power of the photovoltaic field connected to one inverter and the AC power of the entire plant. The inaccuracy is due to some simplifications in the models, with the RMS error remaining within 6-8%.

- Г33. L. Stoyanov, **Z. Zarkov**, V. Lazarov, V. Milenov. Study of photovoltaic panels in laboratory conditions. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 68, book 1, 2018, pp. 283-290. ISSN 1311-0829

The article presents the implementation of a low-cost bench for testing photovoltaic panels in laboratory conditions, consisting of a solar simulator and an analyzer of photovoltaic installations. The solar simulator was delivered by a French company after adaptation and implementation by order of the research team. The simulator is with continuous lighting system with halogen lamps. The control of the illuminating power is manual and is carried out via a thyristor controller. The PV panel analyzer is factory-made and allows I-V characteristics to be captured on installations up to 12kW. The test bench is designed to test PVs from five different technologies. I-V characteristics are recorded at different illumination values and panel temperatures. The results obtained coincide with the theoretical characteristics, but a stepwise change in the curves is observed. In order to identify the cause of the irregularities, the panels were also tested under real conditions (sunlight), again using the same analyzer. The curves obtained are smooth, which leads

to the conclusion that the problem is probably due to uneven illumination. The elements of the stand are low-budget, and a compromise is sought between satisfactory quality and low cost.

- Г34. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, L. Stoyanov. Experimental study of losses in doubly-fed induction generator. Journal Ecological Engineering and Environment Protection, vol. 3, 2012, pp. 34-40. ISSN 1311-8668

The article presents an experimental investigation of the loss in configuration of a doubly-fed induction generator, including: a wound-rotor induction generator, a bidirectional back-to-back converter, an LC filter and a transformer. The configuration is implemented as an experimental stand in the Laboratory for Renewable Energy Sources (Electrical Aspects) in the Department of Electrical Machines, Faculty of Electrical Engineering, TU-Sofia. The results of experiments and calculations are presented which show the dependences of the losses in the individual elements of the system on the converted power and on the speed of rotation of the machine. The distribution of different losses at different stator power values and at different rotational speeds is presented. The change in the efficiency of the system depending on the speed of rotation and the power is obtained. The results indicate the need to take into account the losses neglected in the simulation models, which would significantly improve the correspondence between the calculations and the reality.

- Г35. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, L. Stoyanov. Inertia influence on MPPT operation of a wind turbine with doubly fed induction generator. Ecological Engineering and Environment Protection, No. 4, 2012, pp. 52-58. ISSN 1311-8668

The article presents a study of the influence of inertia mass on the operation at maximum power of a wind power conversion system with a DFIG. Models of the individual elements of the wind generator and its associated control systems are briefly described. The implemented model in Matlab/Simulink is validated on an experimental bench. Simulations are performed at different values of inertia in the system and the operation of the wind generator at different wind profiles was investigated. Based on the results obtained, it is found that the inertial mass must provide a compromise between the stability of the control for tracking the maximum power point and the power fluctuations introduced into the network.

- Г36. **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, H. Kanchev, V. Milenov, V. Lazarov. Comparative study of photovoltaic systems with different types of modules. Ecological Engineering and Environment Protection, No. 3, 2015, pp. 47-56, ISSN 1311-8668.

The article presents an experimental comparative study of tracking and fixed PV systems with five types of panels manufactured using different technologies and materials. Comparisons are made of the electrical characteristics of PV generators based on the manufacturers' data. A number of results of experimental investigations of PV systems under different meteorological conditions are presented - sunny, cloudy days. The data and comparisons of the performance of fixed and sun-tracking systems are presented and the energy produced in the sun-tracking mode is evaluated. Conclusions have been made about the qualities of thin-film panels compared to those of crystalline silica panels.

- Г37. Bachev, I., B. Demirkov, L. Stoyanov, V. Lazarov, **Z. Zarkov**, G. Notton, A. Damian. Generalized approach for feasibility study of hybrid systems with renewable energy sources. Ecological Engineering and Environment Protection, No 2, 2018, pp. 64-73, ISSN 1311-8668, DOI:10.32006/eeep.2018.2.6473

The article presents a generalized method for sizing a hybrid system with photovoltaic and wind generators and storage devices. The method is based on the use of per unit system for the power generated and the energy produced. As input, data on meteorological conditions at a given place and load schedule of consumers are used. The method is applied to three sites in Bulgaria, France and Romania, and calculations are made for three exemplary generators' power configurations. Based on the annual energy balance, comparisons are made of the different configurations located at the three sites examined. Appropriate conclusions are drawn about the feasibility of the selected configurations at different geographical locations.

- Г38. **Z. Zarkov.** Physical modeling and research of wind energy conversion systems with synchronous generators in laboratory conditions. *Ecological Engineering and Environment Protection*, No. 4, 2018, pp. 60-69, ISSN 1311-8668.

The article presents a test bench developed in the Laboratory of RES (Electrical Aspects), Faculty of Electrical Engineering, Technical University - Sofia, for physical modeling of wind energy conversion system, including: drive motor with electronic converter, synchronous generator with electromagnetic excitation, boost DC/DC converter, three-phase transistor inverter with a filter that is connected to the grid. The stand is equipped with suitable voltage and current sensors, which are required to control the inverters and system power. By using the dSPACE DS1104 microprocessor platform and using a program developed by the author is implemented the control of the electronic converters. The structure of the model developed by the author in Simulink is shown, which is compiled directly into a program code for the real-time microprocessor control system. The article also presents some results of experimental studies, which confirm the qualities of the realized bench and its correspondence with the real wind generators. The developed physical model of WECS represents a flexible solution for verification of theoretical studies of energy conversion processes, operation of energy converters and control systems in wind generators.

- Г39. **Z. Zarkov.** Simulation of the wind turbines' operation in laboratory conditions. *Ecological Engineering and Environment Protection*, No. 4, 2019, pp. 44-53, ISSN 1311-8668.

The purpose of this article is to present approaches for the creation of wind turbine emulators (WTE) for use in a laboratory setting. Using appropriate mathematical models of wind turbines and their implementation in microcontrollers for the control of electronic converters, the operation of the drive motor, which corresponds to the behavior of a real wind turbine, is achieved. Two wind turbine emulators are presented. The first uses a DC motor with an independent excitation powered by a transistor converter. Its control is implemented on a dSpace DS1104 microprocessor system using motor current feedback. The second WTE uses a permanent magnet DC motor powered by a three-phase controlled thyristor rectifier. It is controlled by an Arduino Nano microcontroller and a torque feedback of the motor shaft. Experimental studies show the full functionality of the developed devices, as well as their ability to accurately simulate the behavior of real wind turbines in a laboratory setting. The solution using torque feedback gives better results with respect to the accuracy of the turbine's specified characteristics, but it requires an expensive torque sensor.

- Г40. Lazarov, V., **Z. Zarkov**, H. Kanchev, L. Stoyanov, B. François. Compensation of power fluctuations in PV systems with supercapacitors. *Electrotehnica & Electronica E+E*, 9-10, 2012, pp. 48-55, ISSN 0861-4717.

The article addresses the problems associated with the integration of RES into the energy system, arising from the changing nature of primary energy. Possible solutions to overcome the

problem are the development of hybrid systems and the introduction of energy storage devices. In the paper, the authors propose a system to compensate for the fluctuations in the power of a PV power plant by using a supercapacitor as an energy storage device. Model of photovoltaic system, supercapacitor and electronic converter is. Simulation studies are conducted using real data for variations of solar radiation. Experimental results for the operation of a supercapacitor with variable power are also presented. The results confirm the ability to compensate for the power fluctuations of low-power PV plants with only supercapacitors.

- Г41. Lazarov, V., Z. Zarkov, L. Stoyanov, H. Kanchev. Strategies for output power control of photovoltaic systems. *Electrotehnica & Electronica E+E*, 11-12, 2012, pp. 62-72. ISSN 0861-4717

The article summarizes the authors' work on the modeling of a photovoltaic system with a boost DC/DC converter and inverter connected to the power grid and possible strategies for managing its power output. Models of the various elements of the system are presented in detail in a form suitable for implementation in the Matlab/Simulink. Three strategies for controlling output power are considered - tracking the maximum power point (MPPT), operation with constant power, and operation at limited power point. The former is widely used, while the other two are proposed by the authors in order to be able to meet the requirements of the power system operator. Ideas are protected by patent [P1]. When maintaining constant power, operator's reference is followed when the primary potential allows it. In the case of power limitation, the output power is required to be a percentage of the maximum possible. The three strategies are implemented in control systems using fuzzy logic or predefined surfaces. Simulation results are presented to illustrate the correct operation of the models and control systems when operating in the three modes.

- Г42. Kanchev, H., B. François, **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, V. Lazarov. Study of power fluctuations and their compensation in a hybrid system with renewable energy sources, *Electrotehnica & Electronica E+E*, 11-12, 2015, pp. 54-60. ISSN 0861-4717.

The article deals with the combined effect of solar and wind potential and the energy produced on the operation of an autonomous hybrid system for the generation of electricity from renewable energy sources (RES). The system under study includes a PV generator, a wind generator, three gas microturbines, an energy storage device and loads. The mathematical models used to estimate the primary energies and to calculate the electricity produced by the various generators are presented. The algorithm for energy management of the hybrid system is also presented. The purpose of this algorithm is to plan and manage the operation of the gas microturbines and the storage device to ensure uninterrupted power supply to the users at minimum CO₂ emissions. This is achieved by reducing the start-up and shut-downs of gas microturbines and optimizing the power at which they operate. The results of simulations at different distributions of primary energies are presented, the distribution of solar energy being the same for all simulations, while three different distributions are used for wind speed. The analysis of the results allows determining the optimal installed capacity of the renewable generators, taking into account the primary potential and the load schedule.

- Г43. **Zarkov, Z.** DC-DC converter for interfacing PV panel to micro-inverter. *Electrotehnica & Electronica E+E*, 9-10, 2019, pp. 161-168, ISSN 0861-4717

This article presents the development and modeling of a DC-DC converter for connecting a thin-film PV module to a standard micro-inverter. The idea is to include a specialized isolated DC-

DC converter as an interface between the PV module and the inverter. The converter is designed to transform the panel's current-voltage curve so that its output voltage meets the inverter's requirements. Based on the mathematical models of the individual elements, a simulation model of the combination of panel, DC-DC converter and load in Matlab/Simscape is created. The simulation results prove that the converter is able to adapt the module's characteristics to a micro-inverter under different meteorological conditions. The output characteristics of the converter have the form necessary for the normal operation of the algorithm for MPPT of the inverter.

- Г44. Spirov, D., V. Lazarov, D. Roye, **Z. Zarkov**, O. Mansouri. Modeling of DC-DC converters for application in RES using Matlab/Simulink®. Conférence Electrotechnique du Future «EF 2009», Sep 2009, Compiègne, France, pp., ISBN 978-2-913923-30-0

This article introduces two approaches for modeling DC-DC converters in the Matlab/Simulink environment. The first approach uses equivalent converter circuits and state variables to build the models. The second approach is based on Simulink's SimPowerSystems library, which allows models to be created by directly drawing the inverters' wiring diagrams. For this purpose, the library provides models of various elements that are used in electrical engineering and electronics - passive and active, as well as additional models of various control and measuring devices. The article also describes the sizing of passive elements of converters. The approaches are exemplified by the creation of models of two types of DC-DC converters - boost and buck-boost. The results of simulations are presented, which are compared with the experimental results of the study of identical converters. Good coincidence proves the correctness of the approaches chosen and the validity of the models.

- Г45. Stoyanov, L., G. Notton, **Z. Zarkov**, V. Lazarov. Estimation de l'influence de l'orientation et de la technologie sur la productivité des modules photovoltaïques intégrés dans les bâtiments. 7ème COLloque FRancophone en Energie, Environnement, Economie et Thermodynamique - COFRET'14. Paris, CNAM; 23-25 avril 2014. Actes du colloque, Article 4/PF-073, pp. 809-815, ISSN 2269-1901.

This article compares the performance of thin-film photovoltaic panels, located in different positions, which is possible when integrating PV panels in buildings. Ten sites of different latitudes, located in the Northern Hemisphere, are used in the study. The study is performed with two approaches for calculating solar radiation on the surface of PV modules. In the first approach, only direct solar radiation is used, and in the second approach, the diffuse and reflected components of the radiation are taken into account. The inputs to the calculations are: geographical location, panel orientation, time of day, direct solar radiation, and ambient temperature. The calculated energy for one year is calculated in one hour increments. The calculations are made for 126 different spatial orientations of the modules. The results are presented as 3D surfaces. The analysis shows that when using solar radiation outside the atmosphere, the optimal position is in all cases oriented south. In the second case, the diffuse and reflected solar radiation reduces the negative effect of the deviation from the optimal azimuth, but the influence of the slope increases. The results of the study allow architects and civil engineers to determine the energy yield of PV panels built into a building in any orientation and geographic location.

- Г46. **Zarkov, Z.**, V. Milenov, I. Garciarena Martincorena. Study of Small-Power Wind Generator with Single-Phase Grid-Connected Inverter. Proceedings of Challenges in Higher Education & Research in the 21st century, vol. 13, June 2-5, 2015, Sozopol, Bulgaria, pp. 135-140. ISBN 978-954-580-356-7

This paper shows the results of a low-power wind generator model study consisting of: synchronous generator, rectifier, voltage limiter, and single-phase inverter with a filter and transformer connected to the grid. In the PSpice software, a simulation model of the electric part of the wind generator is created. In the small wind turbines it is advisable to use the so-called. voltage limiter, which is connected after the rectifier and has the function of protecting the inverter from unacceptably high input voltage in the event of a load or grid failure. An electronic voltage limiter for a small wind generator has been designed, simulated, manufactured and tested. A hysteresis controller with monitoring control is used to control the scheme. An experimental study was also conducted on an experimental stand. The created voltage limiter works as expected, resulting in a good match between the simulation results and the experiment result.

- Γ47. Kanchev, H., B. François, **Z. Zarkov**, L. Stoyanov, V. Lazarov. Compensation of wind power fluctuations in an autonomous hybrid system comprising a wind generator and micro gas turbines. Fourteenth International conference on electrical machines, drives and power systems ELMA 2015, 1-3 Oct. 2015, Varna, Bulgaria, pp. 131-138, ISSN: 1313-4965.

This article presents a study of the impact of 3 wind energy distribution cases on the operation of an autonomous hybrid system with gas microturbines, wind generators and energy storage. The operation of the system is simulated with various wind generators with power from 30 to 60kW. All cases use the same load curve. Power planning is performed using a pre-developed algorithm for incorporating gas microturbines and the storage device using dynamic optimization. The purpose of the optimization is to minimize CO₂ emissions per day. The results show that, for all three wind speed distribution cases, integrating a more powerful wind generator into the system reduces fuel consumption, but this does not always lead to less CO₂ equivalent. This is due to the fact that, in such cases, the gas microturbines are forced to operate at a power well below the rated power. Furthermore, the results show that for optimal operation of an autonomous hybrid system, the connection between the primary renewable energy resource and the load consumption schedule is more important than simply increasing the power of the renewable energy generators.

- Γ48. **Zarkov, Z.**, V. Milenov. Wind turbine emulator with DC motor drive. Fourteenth International conference on electrical machines, drives and power systems ELMA 2015, 1-3 Oct. 2015, Varna, Bulgaria, pp. 146-151, ISSN: 1313-4965.

The article presents a laboratory-developed wind turbine emulator (WTE). The purpose of the WTE is to replace the actual wind turbine with an electric motor, which drives the generator into a laboratory stand. Its requirements are to behave like a true wind turbine, honing its mechanical characteristics at a given wind speed. This is achieved by using a DC motor, which is powered by an electronic converter and controlled with suitable feedbacks. The article presents the mathematical models of wind turbine, power electronic converter and DC motor. A simulation model of the entire emulator was developed along with the controller. With the developed model, a number of simulations were performed at different wind speeds and different torque of the generator. The main results of these simulations are shown. A comparison simulation with a reference ideal model was performed to determine what deviations would be obtained in the presence of errors in the measured values (current, speed) and in the used motor parameters. The results of all simulations show that the emulator behaves like a real wind turbine and follows its mechanical characteristics at variable wind speeds.

Group 3. Publications in journals with impact rank (SJR)

- S1. **Zarkov, Z.**, L. Stoyanov, H. Kanchev, V. Milenov, V. Lazarov. Study of photovoltaic systems' performances with different module types. Materials Science Forum, Vol. 856, 2016, pp. 279-284. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.856.279, (**SCOPUS, SJR=0,180**)

The article presents a theoretical and experimental study of systems with photovoltaic modules produced by different technologies and from different materials and operating under the same meteorological conditions. A suitable mathematical model of type "input - output" is selected to determine the efficiency of panels depending on solar radiation and temperature. Based on the experimental data, the coefficients of the mathematical model for all types of PV panels studied are determined. The model is verified by calculating the electrical power of PV generators under given meteorological conditions and comparing it with that measured. The comparison between theoretical and experimental results shows a good level of agreement with a mean squared error of less than 3%. Comparisons of the operation of different PV generators are made under the same operating conditions. The conclusion is that based on the results, it is difficult to determine which type of PV panels are most effective, as each of them shows certain advantages under certain climatic conditions. Under some meteorological conditions, the thin film modules (CdTe, CIGS and μcSi) are competitive with the already established crystalline silicon technologies.

- S2. Stoyanov, L., **Z. Zarkov**, G. Notton, V. Lazarov. Comparison of thin film modules productivity for building integration. Materials Science Forum, Vol. 856, 2016, pp. 309-314. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.856.309, (**SCOPUS, SJR=0,180**)

The article compares the performance of thin-film photovoltaic panels mounted in different positions that are possible when integrating them into buildings. Ten sites with different latitudes from the equator to the Arctic Circle are used in the study. For 126 different orientations of the surface of the panels, two types of solar radiation are determined - one outside the atmosphere and solar radiation on the Earth's surface, which includes the diffused and reflected components of radiation. The values of solar radiation and ambient temperature are entered into the mathematical model for determining the efficiency of PV panels. The annual energy output for each of the positions of the PV modules and for each of the studied geographical locations is calculated. The results are presented as 3D surfaces, depending on the azimuth and the angle of inclination of the panels. Copper-indium selenide (CIS) panels exhibit a higher energy yield than amorphous Si due to their higher efficiency. Amorphous silicon is advantageous when the slope of the panels is between 20 and 50°, while the CIS is suitable for larger slopes. The results of the study allow architects and civil engineers to determine the energy yield of photovoltaic panels installed in the building and to search for the optimal choice of layout and type of panels.

Applicant's articles accepted for publication (*not included in the list of points for meeting the minimum requirements*)

- III1. **Zarkov, Z.**, V. Milenov, I. Bachev, B. Demirkov. Grid connected PV systems with single-phase inverter. 2019 11th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, 11-14.09.2019. Published in IEEE Xplore Digital Library, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030797.

The article presents an analysis of a photovoltaic system connected to the electricity grid. The system consists of: string of photovoltaic panels, single-phase inverter, an LC filter and a low-frequency transformer connected to the grid. The system is controlled by an algorithm for MPPT of the PV string. A comprehensive simulation model of the entire system has been created, including

control algorithms. The MPPT method used is perturb and observe. A simulation study is performed with variable solar radiation and the results show a realistic behavior of the developed model of the MPPT algorithm. The simulation results are compared with experimental tests on a real photovoltaic array with the same parameters and a good match is found. Using simulations and experiments, it has been shown that the inverter output current is distorted due to the non-sinusoidal voltage of the grid at the connection point.

- III2. **Zarkov, Z.,** L. Stoyanov. Emulator of PV Panels for Laboratory Studies. 2019 11th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, 11-14.09.2019. Published in IEEE Xplore Digital Library, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030772.

The article introduces the implementation of a photovoltaic panel emulator for laboratory testing. Various options for implementing such an emulator are considered. The emulator is based on a computer-programmable power source. The control is performed by an algorithm programmed in the LabVIEW environment. The algorithm uses a suitable mathematical model of a PV panel based on a one-diode equivalent circuit. Model equations are programmed in a LabVIEW environment and the possibility of obtaining different I-V characteristics corresponding to different meteorological conditions is tested. Finally, the correct operation of the created emulator is tested and illustrated with experiments with different loads that follow the current-voltage characteristics of the simulated panel.

- III3. **Zarkov, Z.,** L. Stoyanov, I. Draganovska, V.Lazarov. The Comparison of different approaches for solar radiation forecasting using Artificial Neural Network. 2019 11th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, 11-14.09.2019. Published in IEEE Xplore Digital Library, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030781 .

The article is an exploration of a multilayered neural network (NN) to predict solar radiation one day ahead. Six combinations are proposed with three different input variables and two different number of hidden layers. In each combination, the number of hidden neurons in the layers also varies. The output of the neural network is the daily change in solar radiation one day ahead. Three different input sets are considered - daily radiation for the last six days, historical information on the forecast day of the last two years, and historical information on the forecast day of the past four years. Best results are obtained for single-layer perceptrons when measured solar radiation for the six previous days or same-day data for the past two years are used as input. The calculated mean-square error for the optimal combination is between 1.44% and 8.38%. A more in-depth analysis of the comparison between measured and projected solar radiation shows that on clear sunny days, the accuracy of the model is higher and problems are observed with low solar radiation.

- III4. **Zarkov, Z.,** L. Stoyanov, I. Draganovska, V.Lazarov. Application of ANN for solar radiation forecasting - case study of Oryahovo. 2019 11th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, 11-14.09.2019. Published in IEEE Xplore Digital Library, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030792 .

This article presents the application of artificial neural networks (ANN) for the prediction of solar radiation in the region of Oryahovo, Bulgaria. A review of the possibilities for predicting solar radiation that could be applied to evaluate the output of photovoltaic stations shows that statistical methods show better results for short-term predictions than physical and hybrid techniques. Today, the most commonly used statistical approach is the neural network. In the present case, a multilayer perceptron network was used to predict solar radiation for the day ahead for the object in Oryahovo. Measured solar radiation for the previous six days is used as input parameters. As a result of the simulations, the ANN with 20 hidden neurons was found to exhibit the best performance compared to the other structures. The standard error in this case is between 4% and 5%.

- III15. Stoyanov, L., **Z. Zarkov**, G. Notton, V. Lazarov. Design opportunities and building integration. In: Energy Efficient Building Design, Springer, 2020. Accepted for publishing in Sprihger.

The article summarizes the previous research of the authors in the field of determining energy production from integrated photovoltaic panels and systems in buildings. The peculiarity of this integration is that the orientation and inclination of the panels can be arbitrary depending on the layout and shape of the buildings. The methodology uses solar radiation and air temperature as the input, as well as the geographical coordinates of the installation and the orientation and inclination of the panels. A reduced Durisch model proposed by the authors in previous publications is used to determine power and energy. The proposed methodology is applied to various sites in the Northern Hemisphere using idealized and realistic meteorological data for solar radiation. The study is performed on five different types of PV panels manufactured using different technologies of different materials (mono-, poly- and microcrystalline silicon, copper-indium-gallium-selenide and cadmium telluride). The results show that no universal recommendations can be made for the optimal orientation of the panels. The results of the calculations are validated with experimental data from the PV systems research platform at the Technical University - Sofia and show good overlaps on a daily and monthly basis.

Group E26. Issued patents

- II1. Lazarov V., D. Spirow, **Z. Zarkov**, L. Stoyanov. „System for control of photovoltaic system output power“. Patent №66503 B1, 31.08.2012.

It is an object of the invention to provide an active electrical system for controlling the output power of a photovoltaic system. The photovoltaic system is connected to the AC mains through an output power control system consisting of an inverter, a storage device connected to the inverter input and a controller. The controller consists of a sensor block, a control unit for determining the power setting, a mode selection unit and regulators. The mode selector determines the operating mode of the control unit from two options: operating at maximum power such as a classic MPPT system or operating at limited power less than the maximum. The choice of operating mode is made according to the requirements of the electricity system operator and the condition of the storage device. The advantage of the present invention lies in the ability to smoothly adjust the power delivered to the network by the PV installation, in accordance with the requirements of the system operator.

- II2. Lazarov V., D. Spirow, **Z. Zarkov**, L. Stoyanov. „System for control of wind energy conversion system output power“. Patent №66506 B1, 31.08.2012.

It is an object of the invention to provide an electrical system for the active control of the output power of WECS. The WECS consists of a wind turbine and an electric generator. It is connected to the grid via a control system consisting of a combination of two electronic converters: an AC-DC and a DC-AC converter. An energy storage device is also connected to the DC line. Two operating modes of the control system are possible: a) standard mode in which the maximum possible power is generated at the current wind speed (MPPT mode) and b) a limited mode in which power is generated according to an system operator specified permissible limit for transmission to the power grid below the maximum. The advantages of the system according to the invention lie in the ability to control the output power of wind energy conversion system in order to limit it, according to system operator requirements. This prevents the wind turbine from being switched off immediately and extends its operation, which is associated with economic benefits for the WECS owner without disturbing the balance of the power grid.

Summary of the contributions in the scientific works with the participation of the applicant submitted for participation in the competition

Research in the submitted scientific papers can be summarized in the following groups:

1. Study of the processes and performance of wind energy conversion systems (WECS).

- 1.1. An overview of the current state of the WECS is made and the trends of their development are outlined. Guidelines for future research have been identified [Г28].
- 1.2. Mathematical and computer simulation models are developed for the individual elements of high-power (2-3MW) and low-power (less than 10kW) wind energy conversion systems: wind turbine, multiplier, electric generator, electronic converters, accumulators, loads and control subsystems [M1], [M2], [M6].
- 1.3. Developed complete simulation models for high-power (2-3MW) and low-power (less than 10kW) WECS with different types of generators working together with power electronic converters, stand-alone or in parallel with electrical grid [M1], [M2], [M6], [Г1], [Г2], [Г3], [Г4], [Г18].
- 1.4. A method is developed to evaluate the influence of inertia masses in WECS with a doubly-fed induction generator on its operation with maximum power [Г35].
- 1.5. The results of experimental studies with electric generators, electronic converters and stands for physical modeling of WECS are obtained, the results of which prove the adequacy of the developed mathematical and simulation models. The losses in the electronic converter and its efficiency are determined on the basis of experimental measurements and data from the manufacturer [Г1].
- 1.6. A methodology is developed for the experimental investigation of losses in doubly-fed induction generator system together with electronic converters at different values of stator power and rotational speed [Г34].

2. Study of electrical machines for WECS.

- 2.1. An equivalent magnetic circuit is proposed for the study of inductances of claw pole generators. A 3D model with finite elements of a claw pole machine is made. It is proven that in synchronous machines with permanent magnets, including those with claw poles, the inductance on the axis q is greater than the inductance on the axis d [Г8].
- 2.2. Models of induction machine with squirrel cage rotor and wound rotor in Matlab/Simulink are created in a coordinate system rotating at synchronous speed and with currents as state variables [Г11], [Г12], [Г14].
- 2.3. An algorithm and a model of a synchronous machine in Matlab/Simulink are created with fluxes as state variables [Г13].
- 2.4. Simulation models of alternator with electromagnetic excitation and alternator with permanent magnets are developed [Г29], [Г30].
- 2.5. An alternator with rare earth permanent magnet is designed that has excellent parameters and can be further developed as a product for the market [Г30].
- 2.6. The possibility of using a modified permanent magnet alternator in low power WECS in configuration with diode rectifier and electronic converter has been proven [M6].

3. Study of electronic converters for application in RES.

- 3.1. A simulation model of an active three-phase PWM rectifier in conjunction with a synchronous generator designed to operate with a variable wind turbine [Г17].
- 3.2. Detailed mathematical and simulation models of three types of parallel DC/DC converters with common input and output voltages, controlled by interleaved pulses, are developed for use in WECS [M4], [M5].

- 3.3. Based on simulations, comparisons are made between the properties of different types of parallel DC/DC converters with a view to their application in WECS [M4].
 - 3.4. A model in a Matlab/Simulink of a single-phase inverter is developed for connection of generators using RES to power grid. It is proven that the output power can be controlled to match the input so that the energy balance of the system is maintained. An experiment is conducted to prove the adequacy and practical applicability of the model [Γ9].
 - 3.5. A scheme is proposed and a simulation model of a voltage limiter for a small wind generator is developed. A laboratory model of the voltage limiter for small wind generator is fabricated, which is included as part of a test bench for physical modeling of WECS [Γ46].
 - 3.6. A simulation model of a PV system with an MPPT controller with a single-phase inverter connected to the grid is developed. Using simulations and experiments, it is proved that the inverter output current is distorted not only by the inverter's imperfections and its control, but also by the non-sinusoidal voltage of the grid at the connection point [ΠΠ1].
 - 3.7. A new idea is presented for adapting the characteristics of thin-film PV panels with high output voltage to standard micro-inverters by means of an intermediate DC-DC converter. A simulation model of the PV panel is developed along with the proposed DC-DC converter [Γ43].
 - 3.8. A comparison is made between two approaches to construct simulation models of DC-DC converters and their control in a Matlab/Simulink environment. Models using the SimPowerSystems library are shown to produce results that are closer to the real ones. Models using state variables have better convergence and run faster [Γ44].
- 4. Development and study of algorithms and strategies for wind power management.**
- 4.1. A new method of controlling the power of an electric generator in a WECS is defined using the electronic converter for tracking the point of limited power using only a certain percentage of the available wind power [Γ2], [Γ4]. The idea is protected by a patent [Π2].
 - 4.2. Control of the electronic converter in the WECS is defined, which allows the operation of the system with constant power when the wind speed is changed [Γ3], [Γ16]. The idea is protected by a patent [Π2].
 - 4.3. Models of controller for maximum power point tracking (MPPT) and controller for operation with constant power using fuzzy logic have been developed for application in WECS [Γ16].
 - 4.4. An algorithm and a simulation model of a complete wind energy conversion system with a doubly-fed induction generator is developed. Algorithms and models of control systems are to ensure the maximum power operation of the wind generator [Γ18].
 - 4.5. An algorithm for determining the optimal references for generator currents in dq coordinate system for the implementation of a maximum torque per ampere control (MTPA) strategy is, which is included in the loop of the torque and current regulators of synchronous generator [M1].
 - 4.6. Software implementations of wind turbine maximum power point (MPPT) tracking algorithms are developed using two methods: optimum tip speed ratio (TSR) and optimum torque control (OTC). [M2].
 - 4.7. It has been proven that when controlling the synchronous generator torque using the maximum torque per ampere strategy, lower electrical losses are achieved compared to the zero d-axis control strategy [M2].
 - 4.8. Based on simulations and comparisons, it is shown that the use of the TSR method for MPPT results in a greater amount of electricity produced from WECS than the OTC

method, but this is associated with much higher dynamic loads of the turbine and generator. [M2].

5. Study of photovoltaic panels and generators.

- 5.1. A mathematical model for calculating the efficiency and the power of PV panels is proposed, which is based on the Durisch model but the influence of the air mass is neglected. It is that the proposed model gives good accuracy without having to know the exact astronomical time and geographical position of the PV installation [M7], [M8], [S1].
- 5.2. Based on experimental data, the empirical coefficients necessary for the application of the developed model for theoretical calculation of the PV efficiency are determined. It is done for PV panels of six different types that are manufactured using different technologies and materials [M8], [M9], [S1].
- 5.3. An approach is developed to determine the temperature coefficient of PV panels efficiency based on experimental data [M8], [S1].
- 5.4. A mathematical model for calculation of the efficiency by the inverter input power of a single-phase PV inverter is developed [M8].
- 5.5. A methodology is developed for calculating the power output of a PV plant by calculating the output power of a separate string, DC/DC electronic converter, inverter and of the entire plant [Г32].
- 5.6. Models with neural networks are developed to predict solar radiation for the day ahead. The model also allows forecasting the power generated by small or large photovoltaic systems for a day ahead, based on data from the previous six days [III3], [III4].
- 5.7. On the basis of experimental and simulation studies, comparisons of productivity and conclusions about the influence of meteorological conditions on the operation of different types of PV panels are made. [M8], [M9].
- 5.8. A mathematical and simulation models are developed to calculate the voltage-current characteristics of PV panels and PV generators at given solar radiation and cell temperature. The model is valid for PV panels that are manufactured using different technologies and materials [M10], [Г21].
- 5.9. An approach is developed to determine the efficiency of PV panels under arbitrary operating conditions (solar radiation and cell temperature) based on the model of current-voltage characteristics [M10].
- 5.10. A methodology has been developed for comparing the energy produced by different PV installations for integration into the facades of buildings, based on: a methodology for determining the actual solar radiation received from the modules and a methodology for determining the energy produced by the PV modules [Г25], [Г45]. Results are obtained for the energy yield of monocrystalline silicon PV panels at different orientations at 10 locations around the globe [Г45]. Results are obtained for the energy yield of two types of thin-film PV panels at 126 different orientations at 10 locations around the globe [S2], [III5].
- 5.11. Theoretical and experimental comparative studies of the characteristics of different types of photovoltaic panels and generators operating under the same conditions have been carried out [M8], [M10] [Г24], [Г36].

6. Developing and study of algorithms and strategies for control of PV generators power.

- 6.1. A method for tracking the maximum power point through control surfaces is, taking into account changes in solar radiation and ambient temperature [Г21], [Г41].
- 6.2. A detailed simulation model of a photovoltaic system connected to the grid, together with the control, is developed. Two algorithms and models of their respective controllers for

maximum power point tracking are created and tested, based on predefined curves and using fuzzy logic [Г22].

- 6.3. A strategy for limiting the output of a photovoltaic system is proposed. Two approaches are developed to achieve this - with previously known power tables that operate at a certain percentage of the available maximum power and with fuzzy logic, which maintains a constant system output power [Г23]. The idea is protected by a patent [П1].

7. Study of hybrid systems using RES.

- 7.1. A new approach for study and sizing of hybrid systems with wind and photovoltaic generators is developed, based on the use of per unit system. The approach enables comparisons to be made and to find the optimal system configuration without using specific power and energy values, and without setting specific models for wind and PV generators [Г5], [Г37].
- 7.2. Numerous studies on the topic are summarized and experimental results have been presented to show that with properly sized generators and selective switching off of some loads, stable operation of a hybrid RES system can be achieved in both modes of operation: complete autonomy or connected to the grid [Г10].
- 7.3. A review of the possibilities of using supercapacitors to compensate for power fluctuations of generators using RES is made [Г15].
- 7.4. A methodology and experimental test bench for determining the parameters of the supercapacitor and the equivalent circuit is developed [Г19].
- 7.5. A strategy is developed to compensate the fluctuations of wind turbine power with the help of a battery and supercapacitor operating simultaneously. A simulation model of the system is created [Г20].
- 7.6. An algorithm and a simulation model of a system for compensating the power fluctuations of a photovoltaic system using a supercapacitor is developed [Г40].
- 7.7. Algorithms are developed to calculate the power references of the compensating generators in a hybrid renewable energy system when the primary energy (wind and sun) changes so Developed algorithms based on which are calculated jobs countervailing power sources in hybrid system with renewable energy in case of primary energies (wind and sun), so as to achieve continuous supply of loads with minimal emissions of CO₂ [Г42], [Г47].

8. Creation of a scientific research infrastructure for the study of wind power and photovoltaic systems in laboratory and field conditions.

- 8.1. Models are developed and two wind turbine emulators are implemented, which are incorporated as elements of two stands for physical modeling of WECS. The possibility of replacing a real wind turbine in laboratory conditions with a properly controlled electric motor has been proven [Г39], [Г48].
- 8.2. A test bench (physical model) is developed to simulate the operation of a wind energy conversion system with a synchronous generator with electromagnetic excitation and electronic converters [М3], [Г38].
- 8.3. Real-time programs for power control in WECS are developed. The results of experimental studies are obtained, which confirm the adequacy of the developed algorithms and control models that are applicable to WECS with synchronous generators [М3].
- 8.4. Experimental test bench alternator for physical modeling of low power WECS with electronic converters is created [М5], [Г29], [Г30].
- 8.5. A stand for physical modeling of WECS with a permanent magnet synchronous generator, rectifier and single phase inverter connected to the grid is created [Г31].

- 8.6. A platform for experimental study of photovoltaic generators with grid-connected inverters and operating under real-world conditions is created. The platform is located on the Experimental site for RES research of the Technical University of Sofia [M8], [Г26].
 - 8.7. A unique for the country microprocessor-based system for real-time control of processes in WECS and for data acquisition in laboratory dSPACE is introduced [M3], [M11].
 - 8.8. A mathematical and simulation model of a device for recording volt-ampere characteristics (I-V) of PV panels by charging a capacitor is developed. An automatic system for the recording volt-ampere characteristics of PV panels for current up to 10A and voltage up to 100V is implemented [Г27].
 - 8.9. A test bench for the experimental investigation of photovoltaic panels in laboratory conditions by artificial lighting is created [Г33].
 - 8.10. A PV panel emulator has been developed that allows simulation of the operation of PV panels in laboratory conditions [III2].
 - 8.11. An experimental test bench is created to study the possibilities of compensating the fluctuations of power generated from RES with supercapacitors [Г20].
- 9. Study of electric machines and drive systems for electric and hybrid vehicles.**
- 9.1. A complex approach for modeling and simulation of drive systems with permanent magnet synchronous motor, electronic converter and control subsystem is developed. A comprehensive simulation model of the system is created that allows it to be tested in different operating modes. A model of control of PMSM is developed with the application of a combination of two strategies: maximum torque per ampere in the first zone and constant voltage and constant current in the second zone. It is proven that a permanent magnet motor with a sinusoidal magnetic field distribution can also operate as a BLDC, but with lower performance [Г6].
 - 9.2. It is proposed to improve an existing analytical method for calculating the field coefficient in a synchronous permanent magnet motor by including an additional member that takes into account the effect of frequency on circulating currents in a coil with parallel branches. Computational and simulation results are obtained for the effect of different coil parameters and the frequency of current on the field coefficient [Г7].

The contributions also have an educational aspect because some of the educational techniques and scientific and technological achievements discussed in the articles are used in the training of students in the disciplines concerning RES and energy conversion.

Table of compliance of candidate materials with the minimal national requirements and the minimal requirements for the academic position “professor”, according to Appendix 1 of the Regulations of Technical University of Sofia

Group of metrics	Minimum number of points	Number of points of the candidate	Number of points by major group of metrics	
A	50	50	PhD diploma № 26254/16.08.1999 Attestation Commission Professional field: 5.2. Electrical Engineering, Electronics and Automation, specialty “Electric Machines”	
Б	–			
B	100	254	B3	
			B4	254
Г	250	334,5	Г5	
			Г6	
			Г7	77
			Г8	257,5
			Г9	
			Г10	
			Г11	
Д	100	551	Д12	530
			Д13	3
			Д14	18
			Д15	
Е	220	350	E16	
			E17≥40	40
			E18	90
			E19	60
			E20	
			E21	
			E22	
			E23	13,3
			E24	6,7
			E25	
			E26	80
			E27	
			E28	
			E29	60
Ж	120	509	University:: Technical University of Sofia	
3	20	20		
Total	860	2068,5		

Signature:

/Assoc. prof. Dr. Eng. Z. Zarkov /