

РЕЗЮМЕТА НА ТРУДОВЕТЕ СЛЕД ЗАЩИТА НА ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЯ

на гл. ас. д-р инж. Димитрина Йорданова Коева

за участие в конкурс за заемане на академична длъжност „доцент“

в област на висше образование 5. Технически науки,

професионално направление 5.2 Електротехника, електроника и автоматика,

специалност „Електроснабдяване и електрообзавеждане“ (Електрически машини),
обявен в Държавен вестник, бр. 55 от 27.06.2023 г.

Обобщените резюметата на трудовете, представени в настоящия документ, са систематизирани в следните тематични направления:

- I. Електрически машини: асинхронни двигатели, силови трансформатори и електрозадвижвания за индустриални приложения** (citation impact 0.69)
- II. Енергиен преход, енергийна и промишлена устойчивост** (citation impact 1.66)
- III. Възобновяеми енергийни източници, прогнозни модели в енергетиката, цени и пазари на електроенергията** (citation impact 1.58)
- IV. Електрически товари: загуби, хармоници, енергийна и ресурсна ефективност в индустрията** (citation impact 0.8)
- V. Помпи, водни системи, турбомашини, пещи** (citation impact 0.89)
- VI. Електромобили, зарядна инфраструктура** (citation impact 1.27)

- I. Електрически машини: асинхронни двигатели, силови трансформатори и електрозадвижвания за индустриални приложения: [B.4.2], [B.4.3], [B.4.4], [B.4.8], [B.4.10], [G.7.1], [G.8.1], [G.8.2], [G.8.3], [G.8.4], [G.8.14], [G.8.15], [G.8.17], [G.8.19], [G.8.32].**

През последните няколко десетилетия енергийната ефективност на електродвигателите остава важен фокус както за производителите, така и за крайните потребители. Част от усилията е да се предложат нови конструктивни решения за повишаване на енергийната ефективност на електродвигателите.

Чрез моделни изследвания са определени загубите в стоманата при работа на асинхронни двигатели, силови трансформатори и електрозадвижвания за индустриални приложения. Чрез използване на математически модели на електромеханичната система, са определени оптимални работни параметри при различни условия на натоварване и режими на работа. Разработените методики, алгоритми и математически модели позволяват изследване на работните и енергийните характеристики на електрическите машини засега напълно само при установени режими и недостатъчно пълно при често възникващите динамични режими. От друга страна са необходими продължават изследванията и с оглед наличната възможност за рекулперация на

електрическа енергия при различни условия и режими на работа. С цел изследване и анализиране на влиянието на параметрите на електрическите машини и на механизмите върху работните и енергийните им характеристики продължават изследванията с адекватни математически модели, методи, алгоритми и софтуер.

За целта при избор на конкретна топография на модела и прецизни електромагнитни изчисления, проследяване на механични натоварвания и деформации и температурен профил по време на работния процес за предварително посочени „критични” точки от конструкцията, използваме ANSYS Motor CAD. ANSYS извършва електромагнитните изчисления, а Motor CAD – механичния и температурен анализ. Този иновативен и полезен за инженерната практика подход дава много добри резултати, възможност за графично онагледяване на изменението на множество величини, параметри и характеристики при динамично изменящи се условия на работа.

Получените резултати от моделни изследвания са с пряко приложение при изследване и оптимизиране на динамичните характеристики при проектиране (синтез) на силовите електрозадвижвания и системите за управление от гледна точка на механична част, конструкция на електродвигател и регулирането му при различни цикли на работа. Това е в пряка връзка с евентуално прилагане на енергийно-ефективни мерки и определяне с помощта на аналитични техники на възможното енергоспестяване. Разработените и предложени модели могат да се използват освен за анализ и за намиране на решение на обратната задача – разработване на електродвигатели и управляващи системи с параметри, гарантиращи динамични процеси при определени от потребителя изисквания. Това детайлно изучаване на електромагнитните и електромеханичните процеси води до по-рационално и целесъобразно проектиране на електрозадвижвания.

С оглед на постигане на добри резултати при оптимално проектиране на асинхронни двигатели със специална конструкция и с приложения в индустрията гл. ас. д-р Димитрина Коева премина обучения за работа със специализирани софтуери: Motor-CAD Global Summit, 08-12.02.2021; Learn Motor-CAD and the Multiphysics design of electric motors: Free virtual training, 8-12.11.2021; MathWorks Webinar “Integrated FEM Motor Data into Simscape Electrical”, 30.11.2021.

Основните практически и приложни резултати се свеждат до:

- Усвояване на софтуер за оптимално проектиране на електрически машини ANSYS Motor-CAD.
- Извършена работа по опитно изследване на режими на работа на въртящи се електрически машини, явяващи се основен компонент от електрозадвижване в силовата електрическа част на индустриални електрозадвижвания.
- Разработени са модели на въртящи се електрически машини с пряко приложение при изследване и оптимизиране на динамичните им характеристики при проектирането и производството им и при изследването и проектирането на регулаторите и системите за управление на електрозадвижванията

II. Енергиен преход, енергийна и промишлена устойчивост: [B.4.11], [Г.8.5], [Г.8.13], [Г.8.18].

Всяка държава от ЕС има своя стратегия според степента на развитие на икономиката си. У нас нова енергийна стратегия трябва да се изгражда заедно с изработването на индустриална стратегия, предвид прогнозата за нарастване на потреблението при енергоинтензивната индустрия. Преди това е необходимо е да се направи детайлен и реалистичен анализ както на предлагането на електроенергия, така и на потреблението. Важно условие е да се гарантира осигуряването на електроенергия на цена, която да запази конкурентоспособността на българската индустрия и да насърчава родното ни производство.

Важно е да се прави разлика между енергоемкост и енергоинтензивност. Енергоемкостта е, когато се консумира много енергия по принцип, а енергоинтензивността е, когато се консумира много енергия на единица продукт, поради особеностите на технологичните процеси – електролиза, топене на метали, синтез на химични продукти и т.н. Енергоинтензивните производства са ефективни, но изискват много енергия, средствата за която е основен компонент на разходите им.

Индустрията в България от дълги години е най-енергоефективният сектор като постоянно подобрява показателите си. Всички големи предприятия непрекъснато работят за подобряване на енергийната си ефективност, защото тя е от ключово значение за добра конкурентоспособност и висок потенциал за износ. Освен това енергийната ефективност невинаги води до намаляване на електропотреблението. Това е т. нар. парадокс на Джевънс – когато намалиш енергопотреблението на единица продукт (повишаваш енергийната ефективност), можеш да разшириш производството ѝ, произвеждайки повече единици краен продукт по-ефективно, в крайна сметка увеличаваш потреблението на енергия в абсолютни единици.

Въпреки временното успокояване на енергийните пазари, стои притеснението от ново повишение на цените на газа и електроенергията, доколкото не може да се определи дали периодът на свободно и непредсказуемо формиране на тези цени е приключил. Друго предизвикателство е съживяването на дългосрочната доставка на електроенергия за крайните индустриални потребители, тъй като станаха ясни рисковете, произтичащи от високия дял на спотовата търговия изминалите 18 месеца.

Статиите разглеждат състояние и тенденции по отношение на енергийната трансформация и сценария Net Zero, в които се обобщават усилията на България да поддържа съгласувана енергийна политика с ЕС-28, в съответствие с нейните географски и климатични условия и текущото състояние на енергоемкия сектор „Индустрия“. Общият анализ на текущата ситуация в страната, синтезиран в тези статии, се допълва от анализ на специфичните технически характеристики на работата на близо 1700 асинхронни двигателя в две високо енергоемки предприятия: химически завод и хранително-вкусов завод. Загубите на енергия на годишна база могат да се определят чрез използване на няколко параметъра и величини. Представят се препоръки и ключови фактори за енергийно ефективни инвестиции.

III. Възобновяеми енергийни източници, прогнозни модели в енергетиката, цени и пазари на електроенергията: [В.4.7], [В.4.11], [Г.7.1], [Г.8.6], [Г.8.8], [Г.8.9], [Г.8.11].

Възобновяемите енергийни източници (ВЕИ) и алтернативните източници на енергия са основна тема в световен мащаб, а у нас все още няма достатъчно професионално подготвени кадри за тази сфера. Налице е необходимост от интензивни теоретично-приложни дейности по отношение на възобновяемите енергийни източници и алтернативните източници на енергия (биомаса, горивни клетки, когенерация), следващи логична последователност, а именно: моделиране – анализиране – целесъобразно проектиране, с цел компетентно използване на принципните им преимущества. Максимална ефективност на целия процес на преобразуване на възобновяемите и алтернативни енергии може да се постигне основно чрез минимизация на отделните видове загуби и максимизиране на икономическите и социални показатели. Междувременно в последните няколко години увеличението на електрическата енергия, произведена от алтернативни източници на енергия (АИЕ) в ЕС идва най-вече от нарастване на ветрогенераторните системи, следвани от биомаса и фотоволтаици, при постоянно увеличаващ се дял на горивните клетки и водородни инсталации. В тази посока са необходими съответни изследвания, с цел оптимизиране на оперативните режими на определен вид възобновяем енергиен източник и аргументиран избор на система за всяко конкретно приложение, заедно със системи за съхранение на енергия.

С увеличаването на производството на енергия от АИЕ и ВЕИ става много важно да се разгледат методите и техниките за съхранение на тази енергия. По принцип зелената енергия може да бъде трансформирана в друга форма на енергия и да бъде трансформирана обратно, когато е необходимо.

Когато става дума за системи за съхранение на енергия, трябва целесъобразно да се обмислят критериите за избор на метод и техника за съхранение на енергия. Изследванията, проведени досега, класифицират различни критерии при избора на техниките за съхранение на енергия, като основните елементи, които трябва да се имат предвид са: 1) наличните енергийни ресурси; 2) енергийните изисквания и приложение; 3) ефективността на съхранение на енергия; 4) разходите за съхранение на енергия; 5) инфраструктура за съхранение на енергия; 6) други фактори.

Като се има предвид, че проектите за вятърна и слънчева енергия се очаква да бъдат гръбнакът на прехода към ВЕИ в Европа, с оглед и на глобалната декарбонизация, тези два енергийни източника ще трябва да бъдат широко разширени през следващите години.

Предимствата на прехода към ВЕИ са ясни: по-голяма енергийна независимост, по-предвидим и устойчив пазар за електричество, по-ниски цени и като цяло повече сигурност за бизнеса и бита. В надпреварата за енергийна независимост определено ще има печеливши и ще има губещи.

Науката за статистическия анализ на динамични времеви редове в сферата на енергетиката и енергийната система е нова, но все по-налагаща се. Моделите за прогнозен анализ, за прогнозиране на консумацията, на балансираща енергия, на

енергия отдавана от възобновяеми енергийни източници и др, са в основата на една адекватна съвременна енергийна политика. Разбира се подобен вид анализи са интердисциплинарни и засягат области като енергетика, транспортен сектор, гражданско общество.

Статиите разглеждат някои от най-спешните цели към зеления енергиен преход на България, заложи в Плана за декарбонизация, според който до 2030 г. средните емисии от енергопроизводството ни трябва да са паднали до под 350 kg/MWh. В момента термичните ни централи, особено тези на въглища, имат емисии от над 1100 kg/MWh, но чрез микс от различни технологии, преходът може да се случи плавно и без да се създават рискове за енергийната система на страната. Разглежда се и друг много важен момент - България да използва максимално собствени енергийни източници без да влиза в доставка на такива, тъй като това води до зависимости, които в някои случаи могат да се окажат проблем. Основната концепция е това да стане с минимално използване на природен газ, който през преходния период да бъде заменен с български фосилни горива, като лигнитни въглища, които постепенно да намаляват с времето. На второ място идва чистата атомна енергия от двата реактора на АЕЦ, които в перспектива ще трябва да бъдат заменени от други два и евентуално разширени и допълнени с още реактори. След което идва най-важното, а именно зелената енергия във всичките ѝ форми – фотоволтаици, вятърни турбини, опити с биомаса, геотермална енергия – всички възможни инструменти в един правилен микс. Проблемът при възобновяемите енергийни източници (ВЕИ) е, че те са непостоянни, което води със себе си дефинитивното изискване да имаме и ефективно съхранение на енергия. Комбинацията между ВЕИ и съхранението е ключът към декарбонизацията, както се подчертава в посочените статии.

IV. Електрически товари: загуби, хармоници, енергийна и ресурсна ефективност в индустрията: [B.4.3], [B.4.6], [Г.8.1], [Г.8.13], [Г.8.14], [Г.8.15], [Г.8.18], [Г.8.20], [Г.8.24], [Г.8.26].

От гледна точка на оптимизиране на енергийната и ресурсна ефективност, интерес представляват режимите на работа на често използвани електрически съоръжения - трансформаторите, захранващи комбинирани нелинейни товари в обществения сектор. Модерните трансформатори могат да бъдат по-ефективни от всякога и в същото време икономични. Техническите средства в енергетиката, индустрията, търговията и обществения сектор, (електронно оборудване, двигатели, пещи, зарядни станции, UPS системи и др.) са нелинейни товари и са източници на хармонични изкривявания на токовете. Нелинейните товари влияят неблагоприятно на всички компоненти на електроенергийната система: увеличават загубите в трансформатори и двигатели като натоварват топлинно намотките им, увеличават диелектричните и/или механичните загуби и като цяло намаляват ефективността на електрическата система. Над 70% от товара на ЕСС е нелинеен и това показва значимостта на проблема с влиянието на хармониците. Все повече в индустрията и обществения сектор разнотипни нелинейни товари се захранват от един трансформатор. Друг съществен фактор е множеството грешки при отчитане на енергията в случаите на

несинусоидални товари. Възможни са преотчитане или недоотчитане на консумираната енергия. Практиката показва, че най-голямо влияние на това оказват от 5-ти до 13-ти хармоник. Висшите хармоници на тока, прониквайки в ЕСС/мрежа влошават работата на високочестотните връзки и системи на автоматиката, предизвикват лъжливи сработвания на релейни защиты. Изследванията имат научно-приложна насоченост. Получените резултати могат да се използват освен за анализ и за намиране на подходящо разпределение при комбинирани нелинейни товари с оглед енергийно ефективната и надеждна работа на хранящия трансформатор. Основните резултати се свеждат до оценка на хармоничния състав на тока, дяловото разпределение на консумираната енергия от отделните нелинейни товари и последващ анализ на неблагоприятното влияние на хармониците на тока с изявен характер върху работата на хранящия трансформатор.

По отношение на ресурсна ефективност по мнение на водещи експерти, активно участващи в биологични изследвания, приложени решения на биомаса в индустрията и управление на енергийни ресурси в цяла Европа, ние сме на прага на ренесанс по отношение на използване на био ресурсите, катализатор за който са климатичните промени. Но дали политиките отразяват нуждите на заинтересованите страни и как тези нужди варират в различните европейски региони. РБ като част от ЕС има устойчива политика, стратегически програми и ясна индикативна цел по отношение на квотите на централите на биомаса. По данни на енергийния системен оператор (ESO) дяловото участие на централите на биомаса в дневния товар на страната варира между 30% и 32,8%. Разглеждат се конкретни електроенергийни обекти, на които се изследва работа, идентифицират се технологичните, техническите и други проблеми в контекста на управление на енергийната и ресурсна ефективност.

V. Помпи, водни системи, турбомашини, пещи: [B.4.9], [Г.8.1], [Г.8.2], [Г.8.16], [Г.8.19], [Г.8.1], [Г.8.30], [Г.8.31], [Г.8.32].

Изследванията в областта на минимизирането на енергийната консумация на електрическите задвижвания са винаги актуални. Един иновативен метод за спестяване на енергия е векторното управление на асинхронен електродвигател. В тази връзка точното определяне на намагнитващия ток е необходимо условие за постигане на максимална ефективност. Неправилното управление на намагнитващия ток може да доведе до по-висока консумация на честотно управляван електродвигател, спрямо този с директно хранване. Изследванията са проведени чрез създаване на математически модел, представен от система от диференциални уравнения, която от своя страна се трансформира и решава с помощта на подходящ софтуер. Предметът на разглеждане са специфични електрически задвижвания с конкретни параметри. Целта е да се търси минимум на загубите на мощност. Получени са резултати за промяната на променливите, описващи подробно динамичното поведение на електрическото задвижване. Изключително техническата страна на въпроса се разглежда, без анализ на икономическите последици от въвеждането на енергоспестяващи методи.

Изследванията, както и проектирането на такива системи като електрозадвижване с асинхронни двигатели с векторно управление представляват доста трудна задача. Приносът на проведените проучвания е получаване на числени стойности за промяната на загубите на електрическа мощност в специфични конструкции асинхронни електродвигатели при различни методи на управление. При електромеханичното преобразуване на енергията се забелязва намаляване на загубите на електрическа мощност при прилагане на честотно управление / векторен контрол.

Проведени са и аналитични изследвания на векторно управление на електрическо задвижване с асинхронен електродвигател за специфичен консуматор – помпени агрегати. Разгледана е възможността за енергоспестяване на задвижванията с регулируема скорост. Това не е целият набор от възможни задачи за демонстриране на полезността на предложените модели. При работа на помпени агрегати с асинхронни електродвигатели трябва да се вземат предвид възможните механични удари по време на пускане и пулсации на товара. Всяка рязка промяна на въртящия момент от страната на електродвигателя или от страна на товара води до механични натоварвания и умора във валовете. Внезапните промени във въртящия момент могат да доведат до хидравлични удари в тръбопроводната система. Това е един от факторите, заедно с термичното претоварване, за да се предпочитат методите с плавно стартиране, чрез използване на плавен старт или честотен преобразувател. Последното осигурява допълнително предимство – може да покрие промени в съпротивленията на натоварване по време на работа, а също така позволява бързо преминаване през всякакви резонансни честоти при стартиране и избягване на работа на тези честоти. Необходимостта от контрол на скоростта е очевидна, когато самият технологичен процес го изисква. При циркулационните центробежни помпени агрегати в системи с нисък статична напор, намаляването на скоростта, съответно на потока, води до намаляване на консумацията на енергия. Колкото по-голям е статичният напор в системата, толкова по-малки са спестяванията, но все пак ги има. Следователно, когато технологичният процес позволява да се намали производителността чрез регулиране на честотата, могат да се реализират големи икономии на енергия, а допълнителни икономии се постигат заради увеличаване на живота на оборудването.

VI. Електромобили, зарядна инфраструктура: [B.4.4], [B.4.8], [Г.7.1], [Г.8.4], [Г.8.21], [Г.8.22], [Г.8.23], [Г.8.25], [Г.8.27], [Г.8.28].

Фокусът е върху областта на електромобилните задвижващи системи и зарядната инфраструктура (ЗИ). Чрез практически и математически моделни изследвания с оглед енергийна и икономическа ефективност, се анализират процесите на работа на електрически двигатели, задвижващи превозни средства, процеси на зареждане на електромобили, разработват се прогнозни модели за консумацията на електрическа енергия от ЗС. Защо тези въпроси са все по-актуални и какви са предизвикателствата пред нарастващата ЗИ?

При изграждане на нова зарядна станция трябва да се имат предвид енергийната консумация на наличните в региона електротранспортни средства, стабилността на енергийната мрежа, достъпност и инвестиционни разходи. Инфраструктурата за поддръжка на електромобилите и зареждане на батериите, е сектор, който тепърва ще се развива главоломно. Зарядните станции вече са технологично напреднали до такава степен, че вече е възможно връщане на енергия в мрежата. Комуникацията с електромобилите, протоколите, надеждността, защитата, различните функции – всичко това е отдавна направено и готово за масова употреба. Сред направленията, които предстои да се развият, е именно въпросното връщане на енергия към мрежата, както и съпътстващата техническа инфраструктура. Необходим е статистически анализ, базиран на реални данни: за консумираната електрическа енергия от ЗС в точката на присъединяване, географско разположение и разстояние между отделните ЗС и др. Целта е да се прогнозира консумираната от ЗС електрическа енергия. По този начин се избягват претоварване на мрежата, оптимизиране на ЗИ по отношение на локализация и мощности.

Изборът на подходящото местоположение на една нова ЗС, например, се крие в правилното тълкуване на този стейкхолдър-анализ:

1. От гледна точка на доставчика на електрическа енергия (подходящо място, минимизиране на върховата консумация и др.). Известно е, че бързото зареждане влияе върху пиковото потребление и претоварването. За разгръщане на мрежа от високо мощни ЗС у нас ще са необходими най-малко 5-7 години.
2. От гледна точка на собствениците на ЗС – утилизация на структурата за максимална достъпност и услуги.
3. От гледна точка на правителство и местните управленски структури – нормативна база, подпомагащо финансиране и др.

Моделите на статистическият анализ на динамични времеви редове успешно могат да се използват за оптимизиране на тази специфична сфера от транспортния и енергийния сектори – зарядната инфраструктура (ЗИ). С помощта на прогнозният анализ е постижимо определяне на най-оптимална локация, мощност на зарядна станция (ЗС), дефиниране на ключови индикатори и проблеми при разширяването на ЗИ и ЗС. Единствено чрез правилен анализ се поддържа един справедлив стейкхолдър-анализ. За генериране на прогнозни модели в случая са необходими масиви от данни за консумираната електрическа енергия от ЗС, географското местоположение на ЗС, идентификация на собствениците на електромобили, времето за зареждане и др. По този начин се удовлетворяват интересите на всички заинтересовани страни:

Първо от гледна точка на енергийните дружества и системен оператор за минимизиране на евентуален енергиен пик при едновременно зареждане в натоварен товаров часови диапазон. При присъединяване на голям брой електромобили за зареждане съществува реален риск от претоварване и аварии на локалните мрежи и влошаване на показателите на електрическа енергия. Времето за презареждане се изчислява на няколко часа. По тази причина едно от предизвикателствата, по което се работи е изграждането на ефективно, чисто, удобно, безопасно и възобновяемо

енергийно захранване. Когато задвижването е чисто електрическо и зареждането става от външна електрическа мрежа липсват вредни емисии при движението на ЕТС, но се увеличава необходимата електрическа енергия за тяхното производство. Ако цялата автопромишленост в света премине към производство на електромобили, то необходимата електрическа енергия за производствени машини и съоръжения ще нарасне 4 пъти. За построяването на нови електроцентрали ще бъдат необходими големи капитални вложения и много време.

Второ от гледна точка на собствениците на зарядни станции да се увеличава техния брой, видове и достъпни места. 39,6 % от собствениците на електромобили предпочитат зареждането на общо достъпни зарядни станции и/или в домашни условия (очевидно колко голям е броят на предпочитащите домашното зареждане с всички произтичащи от това негативи за енергийната мрежа).

Трето от гледна точка на интересите на собствениците на електромобили на база национално и местно законодателство.

В това направление в статиите се анализират събрани данни за годишната консумацията на три публично достъпни ЗС, присъединени към електрозахранваща мрежа на територията на гр. Пловдив. Формираните масиви от селектирани данни за консумираната от зарядни станции електрическа енергия са обект на аналитична обработка и моделно изследване с оглед създаване на адекватен модел и прогнозен анализ за установяване на пикови натоварвания и цикличност на консумацията в точките на присъединяване.

25.09.2023 г.

Изготвил:

/гл. ас. д-р инж. Димитрина Коева/