

СТ А Н О В И Щ Е

върху дисертационен труд за придобиване на научната степен „доктор на науките”

Автор на дисертационния труд: доц. д-р инж. Илиян Христов Илиев

Тема на дисертационния труд: „Оптимизиране на електроенергийната ефективност в режим на понижено натоварване и подобряване качеството и надеждността на електроснабдителните системи”

Член на научното жури: проф. д-р Анатолий Трифонов Александров – ТУ-Габрово

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение.

В целия свят се разработват регулации за намаляване на потреблението на електроенергия, насърчаване на енергийната ефективност и ефективно управление на други източници на енергия. Ограничаването на въглеродните емисии е основна задача в усилията за постигане на енергийна ефективност. Обновяването на съществуващия сграден фонд и подобряването на управлението на енергията е от жизненоважно значение за постигане на целите за намаляване на емисиите.

В последните години в Р. България се наблюдава понижаване на електропотреблението. Промените в натоварването на мощностите на промишлените обекти и в комунално-битовия сектор, продължителността на тяхната работа и надеждността в експлоатацията им, взаимоотношенията с доставчиците на енергийни ресурси и философията на формиране и реализиране на цената на електрическата енергия оказват негативно въздействие върху правилното функциониране на електроснабдителната система (ЕСС).

Темата на дисертационния труд определено е актуална и обхваща проучването, систематизирането и анализирането на теоретични постановки, свързани с концепцията за постигане на електроенергийна ефективност (ЕЕЕф). Идентифицирани са факторите, влияещи върху тази енергетична категория, които да бъдат имплантирани в приложни изследвания за оптимизиране на електропотреблението в отрасловата структура на страната.

2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал.

Дисертационният труд е в обем от 430 стр., структуриран е в 4 глави, съдържа множество формули, 229 фигури, 102 таблици. Авторът е посочил 294 литературни източника, които е използвал за оценка на състоянието на проблема. На кирилица са 190 литературни източника, а на латиница - 104, като 42 от тях са от последните десет години.

В литературния обзор е направен енергетичен анализ на различни фактори, влияещи върху електроенергийната ефективност. Дефинирани са основните фактори, влияещи върху експлоатационните характеристики на електрическата енергия. Разгледани са характеристиките и особеностите на загубите на мощност и електрическа енергия, разглеждани като компонент на ЕЕЕф. Анализирани са състоянието на електроенергетиката и електропотреблението за периода 1990 – 2022 г, влиянието на реактивните мощности и свързаната с тях компенсация на реактивните товари, които имат пряко отношение към ЕЕЕф. Установено е, че качеството на електрическата енергия има силно въздействие върху ефективното ѝ използване при експлоатацията на енергийните съоръжения. Формулирани са показателите на качеството и практическото им определяне. Разгледани са надеждността на електроснабдяването, като основен критерий за ЕЕЕф, и свързаните с нея понятия, свойства, събития, влияещи фактори и изисквания.

Анализирани са проблемите, свързани с енергийната ефективност в ЕСС (законодателство, директиви и стандарти) и с енергийното обследване и мениджмънт. Предложени са критичен експертен подход върху категорията “Енергийна ефективност” и концепция за нейното трансформиране и целесъобразно приложение.

Литературният обзор е насочен конкретно към изследваната тематика и показва недвусмислено, че доц. д-р Илиян Илиев познава много добре състоянието на проблема в теоретично и практическо отношение.

3. Съответствие на избраната методика на изследване и поставената цел и задачи на дисертационния труд с постигнатите приноси.

При разработването на дисертационния труд е използван съвременен инструментариум, съответстващ на неговата цел и задачи.

Във втора глава са изследвани теоретични постановки, прилагащи диференциран подход за оценка и анализ на различни мощности и на загубите на мощност и електрическа енергия в ЕСС. Направен е сравнителен анализ на мощностни теории, прилагани в различни процедури: метод на моментната мощност в координатна система α - β -0; теория на обобщената моментна неактивна мощност (GINAPT); мощностна теория на Budeanu. Представена е теоретична постановка за анализ на „Трифазна несинусоидална и небалансирана система“. Определени са загубите на активна мощност в съответствие със стандарт IEEE Std 1459-2010 чрез прилагане на парциален подход.

Изследвани са теоретични постановки, прилагащи интегрален подход за оценка и анализ на загубите на мощност и електрическа енергия в ЕСС, приложими за ниско, средно и високо напрежение (метод на средните товари, метод с времето на максималните загуби, метод на обобщената информация за схемите и товарите на обекта, практико-приложни вероятностно-статистически методи и подходи).

Проведени са теоретични изследвания за установяване на влиянието на статичните характеристики на товара върху различни експлоатационни параметри (баланс на електрическата мощност с отчитане на режима на напрежение, компенсация на реактивните товари, разположение във времето на електрическите потребители с цел формиране на равномерен товаров график, икономически целесъобразен режим на работа на силов трансформатор). Разработени са теоретични подходи за определяне на оптимален технико-икономически режим на компенсация на реактивните товари с помощта на кондензаторни батерии и синхронни двигатели и е съставен алгоритъм за оптимизиране. Разгледани са съвременни решения за компенсация на реактивни товари на база на гъвкави променливо-токови системи, както и приложението на активни и пасивни филтри за регулиране на процесите в ЕСС.

Систематизирани са основни източници, влошаващи качеството на електрическата енергия и електромагнитната съвместимост и оказващи влияние върху ЕЕЕф. Моделирана е и е оптимизирана „надеждността на електроснабдяване“, която е съществен фактор за повишаване на ЕЕЕф. Определени са законите на разпределение в „теорията на надеждността“. Формулирани са математически модели за възстановяеми и невъзстановяеми елементи при различни видове съединения и е представена тяхната графична интерпретация като основа за практически изследвания.

В глава 3 от дисертационния труд е проведено мащабно изследване в 167 промишлени предприятия от 9 отрасли. Установена е зависимостта на специфичния разход на електрическа енергия от режима на напрежението, нивата на компенсацията на реактивните товари и натоварването. С прилагане на вероятностно-статистически подходи е доказана стационарността и ергодичността на изследваните стохастични процеси.

Извършено е моделиране на загубите на активна мощност в многофакторно пространство. На базата на експертен анализ са определени четири стратегически значими фактора от режимен и схемотехнически характер, влияещи върху загубите на активна мощност - коефициент на формата на товаровия график, еквивалентно съпротивление, фактор на мощността, относително отклонение на напрежението. Приложен е комплексен многофакторен подход с използване на теорията на планирания експеримент, като факторите варират на 3 нива, а математическите модели са определени за 5 основни отрасли (Машиностроене, Химическа и добивна промишленост, Ел. транспорт, Хранително-вкусова промишленост, Комунално-битов сектор). Представена е графична интерпретация на моделите в 2D и 3D пространството и са направени изводи. Изследвано е влиянието на статичните характеристики на товара върху показателя на качеството на електрическа енергия и ЕЕЕф в отрасловата структура на страната и за отделни промишлени обекти. За

мощен промишлен обект от химическата промишленост е определено влиянието на статичните характеристики на товара върху показателя на качеството на електрическа енергия и ЕЕЕф. Установени са високи нива на хармониците и несиметрия на тока и напрежението. С помощта на планиран експеримент е моделирано "балансовото уравнение на мощността" (δP^*) в отрасловата структура на страната. Представен е изследователският процес и са анализирани получените резултати. Направена е графична интерпретация в двумерното и тримерното пространство и е разработена методика за постигане на висока ЕЕЕф в ЕСС на съответните отрасли. Определени са оптимални области на съществените фактори по критерий $\delta P^* < 0$ за шестте основни отрасли от промишлеността при три нива на натоварване. Представено е оригинално техническо решение за оптимизиране на режима на работа на силов трансформатор в четири трансформаторни подстанции. Проведени са експериментални изследвания за ЕЕЕф при пръстеновидна схема на ЕСС.

В четвърта глава са приложени различни оптимизационни процедури по различни критерии за постигане на висока ЕЕЕф в отрасловата структура на страната и за различни промишлени обекти. Постигнати са оптимално разпределение и разположение на компенсиращите мощности по критерий минимум на приведени годишни разходи.

Анализирани са технически решения за компенсация на реактивната мощност с помощта на активни филтри. Обобщени са видовете активни филтри според типа на компенсацията. На база на теорията на моментната мощност са предложени нови теоретични подходи за представяне на вектора на тока. Синтезирани са активни и пасивни филтри за трифазни четирипроводни системи с несиметричен товар.

Изследвана е възможността за повишаване на ЕЕЕф чрез подобряване на качеството на електрическата енергия. За различни потребители в режим на експлоатация при понижено натоварване са определени загубите на мощност от влошени показатели на качеството на електрическата енергия ΔP_b . Направен е анализ на получените данни. В многофакторното пространство, прилагайки теорията на планирания експеримент, е проведена оптимизационна процедура при изходен параметър ΔP_b и три съществени фактора. С помощта на формулирания "комплексен многофакторен подход" са получени математически модели и графично е показана интерпретация на зависимостта $\Delta P_b = f(\delta U, \varepsilon U, KHC)$ за 9 отрасли от индустрията и комунално-битовия сектор.

Апробацията на методиката за мощен промишлен обект с номинална мощност 30MVA е извършена с помощта на многофакторен планиран експеримент за 6 групи потребители в обекта, като са построени зависимостите $\Delta P_b = f(\delta U, \varepsilon U, THDI)$. Анализът на резултатите показва висока степен на адекватност, значимост и тъждественост на математическите модели, които дават възможност за оценка на ЕЕЕф при експлоатацията на изследваните потребители. Определена е тежестта на влияние на всеки от съществените фактори и ефектите на взаимодействието им.

За обекти от електротехническата, металургичната, добивната и циментовата промишленост са изследвани различни характеристики, отразяващи корелационните връзки между ЕЕЕф и качеството на електрическата енергия. Анализирани са "нови показатели на качеството на електрическата енергия", адекватно и достоверно отразяващи енергетичното въздействие на натоварването върху качеството на електрическата енергия.

За девет отрасли на промишлеността са изследвани надеждността на електроснабдяването, устойчивостта и стабилността при експлоатацията на електротехническите съоръжения и са предложени възможности за тяхното подобряване. Анализирани са основните причини за повреди, като е оценен приносът на влошеното качество на електроенергията по време на аварийните състояния. Установено е, че животът на кабелните мрежи, работещи в условията на влошени показатели на качеството на електрическата енергия, се намалява около два пъти.

4. Научни, научно-приложни и приложни приноси на дисертационния труд

Приносите в дисертационния труд имат научен и научно-приложен характер и са в областта на оптимизиране на електроенергийната ефективност в режим на понижено

натоварване и подобряване на качеството и надеждността на електроснабдителните системи. Те са свързани с доказване с нови средства на съществени нови страни в съществуващи научни проблеми и с получаване на потвърдителни факти.

Научни приноси

- Разработена е методика за многофакторно моделиране и оптимизиране на различни изходни параметри на електроенергийната ефективност. Осъществена е апробация на синтезирания теоретичен подход чрез провеждане на научноизследователски експерименти в отрасловата структура на страната. Доказани са адекватността, значимостта и достоверността на построените математически модели, както и възможността за прилагането им при оптимизационни процедури по различни критерии.
- Предложен е научно-обоснован теоретичен модел за определяне на баланса на мощността в дадена точка от електроснабдителната система. Дефинирано е т.н. "балансиращо уравнение на мощността" (δP^*), което представлява съвкупност от различни енергетични показатели. Формулирано е неравенството $\delta P^* < 0$, като в резултат на благоприятното съчетаване на различни влияещи фактори в разглежданото енергетично пространство се получава положителен енергетичен ефект и потребяваната мощност се намалява. Оптимизационната задача е решена чрез използване на теорията на планирания експеримент.

Научно-приложни приноси

- Чрез прилагане на научно-обосновани подходи е доказана целесъобразността електрообзавеждането в електроснабдителната система да работи при нива на напрежението, по-ниски от номиналните, регламентирани в стандарта. Това води до подобряване на ЕЕЕф и компенсацията на реактивните товари, както и до повишаване на надеждността на електроснабдяването.
- За девет отрасли от промишлеността са разработени математически модели, които дават възможност за по-прецизна оценка при определяне на конвенционалните загуби на мощност в зависимост от всички показатели на качеството на електрическата енергия.
- Предложен е подход за определяне на парциалните загуби на мощност, базиран на теорията на моментната активна мощност. Подходът е апробиран при изследване на промишлени обекти, работещи в режим на понижено натоварване.
- Разработена е нова концепция за определяне на несиметрични и несинусоидални режими, като те се оценяват с притеглени по отношение на мощността коефициенти на дисбаланс и нелинейност.
- За потискане на резонансните явления в електроснабдителните системи са разработени подходи за тяхната оценка с отчитане на влиянието на натоварването. Прилагането им дава възможност за повишаване на надеждността и устойчивостта на електроснабдяването.
- Обоснована е корелационната зависимост на надеждността на електроснабдяването с режимните му характеристики и по-специално с компенсацията на реактивните товари и с качеството на електрическата енергия. Получени са прогнозни резултати за показателите на надеждността в девет отрасли на индустрията.

5. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Публикациите по дисертационния труд са 12 и могат да бъдат класифицирани, както следва:

- По място на публикуване: статии в национални списания и журналы – 1 брой [12]; доклади в трудове на международни научни конференции в България – 8 броя [1 – 4, 6 – 9]; доклади в трудове на национални научни конференции, сесии и семинари – 3 броя [5, 10, 11].

По езика, на който са написани: на английски език – 5 броя [1 – 4, 9]; на български език – 7 броя [5 – 8, 10 – 12].

По брой на съавторите: самостоятелни – 1 брой [12]; с двама съавтори – 6 броя [1, 2, 5, 7, 8, 10] с трима и повече съавтори – 5 броя [3, 4, 6, 9, 11]. В 4 публикации доц. Илиян Илиев [6, 8, 9, 12] е на първо място от съавторите.

Доц. Илиев покрива и по определени показатели надвишава минималните национални изисквания. Защитил е дисертационен труд на тема: „Изследване, анализ и количествена оценка на реалния принос за влошаване на качеството на електрическата енергия от страна на индустриалните потребители и комунално-битовия сектор” (показател А - 50 т.). Представил е: дисертационен труд за присъждане на научна степен „доктор на науките“ на тема „Оптимизиране на електроенергийната ефективност в режим на понижено натоварване и подобряване качеството и надеждността на електроснабдителните системи.“ (показател В - 100 т.); 12 публикации (група показатели Г - 110,01 т.), от тях 4 научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (показател Г7 - 46,66 т.) и 8 научни публикации в нереферирани списания с научно рецензиране или в редактирани колективни томове (показател Г8 - 63,35 т.); 37 цитирания (група показатели Д - 139 т.), от тях 4 в научни издания, реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (показател Д12 - 40 т.) и 33 - в нереферирани списания с научно рецензиране (показател Д13 - 99 т.). Доц. Илиев е бил научен ръководител трима успешно защитили докторанти и на 24-ма успешно защитили дипломанти. Участвал е в 10 научноизследователски проекта.

Приемам, че основните резултати от дисертацията са публикувани и известни на научната общност.

6. Мнения, препоръки и бележки.

В трудовете на кандидата не открих съществени пропуски. Допуснати са някои технически грешки. Считаю, че приносите могат да бъдат обобщени.

7. Заключение

В заключение мога да дам положителна оценка на получените резултати и полезността на дисертацията. Авторът на дисертационния труд е демонстрирал задълбочени теоретични познания и практически умения за изследване и успешно реализиране на поставените цел и задачи.

Постигнатите резултати ми дават основание да предложа да бъде придобита научната степен „доктор на науките” от доц. д-р Илиян Христов Илиев в област на висше образование – 5. Технически науки, професионално направление – 5.2 Електротехника, електроника и автоматика, за нуждите на лаборатория „Роботизирани системи в енергетиката” при ИР - БАН.

Дата: 30.05.2025 г.

ЧЛЕН НА ЖУРИТО:

/проф. д-р А. Александров/