

**РЕЦЕНЗИЯ**  
**на дисертационен труд**  
**за придобиване на образователната и научна степен „доктор” в**

**област на висше образование: 5. Технически науки**  
**професионално направление: 5.2. Електротехника, електроника и автоматика**  
**докторска програма: Електроснабдяване и електрообзавеждане**

**Автор:            маг. инж. Ивайло Димитров Иванов**  
**Тема:             Взаимно влияние между електроснабдяване, електрообзавеждане и**  
**електрически товари за средно напрежение**  
**Рецензент:    доц. д-р инж. Ивайло Стефанов Стоянов, Русенски университет**  
**„Ангел Кънчев“, катедра Електроснабдяване и електрообзавеждане**

Рецензията е изготвена в изпълнение на Заповед №3-01-208/17.05.2021 г. на Ректора на Технически университет – Габрово.

**1. Тема и актуалност на дисертационния труд**

Представеният дисертационен труд е в общ обем от 209 страници. Записката е структурирана в увод, 5 (пет) глави със 150 фигури и 55 таблици, заключение, научни приноси по дисертационния труд, списък на публикациите по дисертацията, справка за известните цитирания на публикации по дисертационния труд, използвана литература от 187 литературни източници и 4 (четири) приложения. Представен е и списък с ползвани съкращения.

Въпросите, свързани с подобряването на ефективността на техническите средства в редица случаи оказват значително влияние върху дела на общите енергийни разходи на компанията или институцията.

Темата на дисертационния труд, а именно *Взаимно влияние между електроснабдяване, електрообзавеждане и електрически товари за средно напрежение* е в областта на електротехниката, електрониката и автоматиката и въпреки известната научна експлоатация на проблематиката за подобряване на енергийната ефективност, тя все още е много актуална и дисертабилна. Една от причините за това е фактът, че енергийната ефективност (и обратно, неефективност) на съоръженията може да се разглежда по два начина, които могат да бъдат определени като резултат, получен от вложената енергия и/или старателното (или ефективно) оползотворяване на енергийните ресурси. Тази дейност непрекъснато се подобрява и оптимизира с оглед постигане на положителни резултати чрез подобряване на ефективността на електрозадвижванията за минимизиране на растящите производствени разходи за електрическа енергия.

Уводът е в обем от 2 страници и в него са обосновани актуалността и интердисциплинарния подход на настоящото научно изследване. В Глава първа е извършено литературно проучване и анализ на състоянието на проблема в обем от 12 страници. Извършен е преглед на въпросите, свързани с областите на приложение на т.нар. високоволтови електрически машини, техните работни режими и взаимното влияние, което оказват върху показателите за качеството на електрическата енергия на

захранващите електрически мрежи – влиянието на захранващото напрежение и сумарния инерционен момент на електрозадвижването върху ударните моменти и токове, времето за развъртане на двигатели за средно напрежение, загубите на мощност и електрическа енергия, и др.

В края на главата е формулирана и основната цел на дисертацията, а именно *Разработване и анализ на инженерни подходи, методи, модели, алгоритми и методики за изследване на електромеханичните преходни процеси, методите за диагностика и контрол на състоянието, както и практическото определяне на възможността за самопускане на асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор за средно напрежение от гледна точка на взаимното влияние между електроснабдяването и електрообзавеждането, както и за диагностика и контрол на състоянието по време на експлоатация.*

Целта е постигната чрез решаването на следните девет основни задачи:

- 1) Изследване на влиянието на стойността на захранващото напрежение и сумарния инерционен момент на електрозадвижването върху възникващите ударни моменти и токове и времето за пускане на АДНСР за СН.
- 2) Изследване на преходните процеси при самопускане на АДНСР за СН при различни механични характеристики на куплираните механизми и в различни условия и избор на метод за опростено изчисляване на самопускане.
- 3) Извеждане на зависимости за загубите на мощност и енергия в АДНСР за СН от захранващото напрежение, които предоставят възможност за компютърно моделиране и симулация.
- 4) Разработване на симулационен модел за изследване влиянието на едновременното изменение по определен закон на захранващото напрежение и честотата върху показателите на преходните процеси и загубите на енергия при различни стойности на началния съпротивителен момент в мощни АДНСР за СН с честотно управление.
- 5) Анализ на функционалните възможности на цифровата релейна защита (ЦРЗ) и изчисляване на необходимите настройки, с цел осигуряване на качествена експлоатация на АДНСР за СН и на електроснабдителната система на дадено предприятие, включително при самопускане на различни агрегати.
- 6) Систематизиране на изискванията към автоматично включване на резервата (АВР) и предложение за съвременни системи с висока надеждност и бързодействие, осигуряващи необходимото качество на преходния процес.
- 7) Систематизиране на данните за аварийност на АДНСР за СН в единни графично представени модели, с цел онагледяване на разпределението на повредите според мястото на проявяване.
- 8) Систематизиране на методи за диагностика на състоянието на АДНСР за СН и препоръки за организацията ѝ.
- 9) Верификация на разработените модели и методики посредством експериментално изследване на преходни процеси и на техническото състояние на АДНСР за СН със съвременна специализирана апаратура.

Глава втора е в обем от 39 страници. Проучени са показателите за качеството на електрическата енергия, които оказват съществено влияние върху работата и продължителността на експлоатация на асинхронни двигатели за средно напрежение.

Направена е класификация на видовете механизми, използвани в електрическите централи в електрически уредби средно напрежение. Посочени са необходимостта и изискванията към техническите средства за АВР в електрическите централи, като на тяхна база е обосновано изискването за бързо автоматично включване на резерва и е предложено техническо решение. Обоснована е методика на изследването, която включва: метод за приблизително определяне на токовете на к.с. и метод за опростено изчисление на самопускане. Извършено е симулационно изследване на статичната и динамичната устойчивост върху асинхронни двигатели за средно напрежение. На тяхна база е анализирана корелацията между показателите за качество на електрическа енергия и силовото обзавеждане в електрически уредби средно напрежение на електроцентрали.

Глава трета е в обем от 51 страници. С помощта на симулационни изследвания е изследвано влиянието на захранващото напрежение и честотата върху загубите на електрическа енергия за различни стойности на началния съпротивителен момент на помпен агрегат с голяма мощност, управляван с честотен преобразувател. Изследвано е комбинираното въздействие на началния съпротивителен момент и общия инерционен момент. Оценено е влиянието на отклонението на напрежението върху възникващите ударни моменти и токове и времето за пускане на електрическия двигател. Изследвано е влиянието на стойността на захранващото напрежение и общия инерционен момент върху продължителността на пусковия процес и загубите на мощност и енергия. Определен е оптимален коефициент на натоварване на асинхронния двигател за средно напрежение на помпен агрегат чрез икономическия еквивалент на реактивната мощност. Проведени са експериментални изследвания и са анализирани проблемите в работата поради наличието на нелинейни товари, причиняващи изкривявания в синусоидите на напреженията и токовете. Получени са аналитични изрази за хлъзгането, съответстващи на минимални загуби, минимален статорен ток, минимална консумация на енергия и др.

Глава четвърта е в обем от 38 страници. Формулираната специфична цел е да се проучи ефективността и възможността за внедряване на автоматизирана единна система за контрол на текущото състояние на мощни асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор за средно напрежение в електрически уредби на електрически централи. Извършена е обобщена оценка и систематизиране на причините за възникване на неизправности от общ характер, които възникват в конструктивните части на асинхронни двигатели за средно напрежение. Анализирани са данни за основните повреди в зависимост от мястото на проявление – за статорна намотка, за роторна намотка, лагери и от общ характер. Извършен е анализ и са класифицирани инвазивните и неинвазивните методи за диагностика на повреди. Направен е сравнителен анализ на тяхната ефективност при определяне на различните неизправности както по място на възникване, така и по стадий на развитие. Проучени са математически подходи за идентификация на различни повреди и аварии на мощни асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор за средно напрежение в електрически уредби на електрически централи.

Глава пета е в обем от 39 страници. Тя е озаглавена *Експериментални изследвания, оценка на резултатите и мерки, предлагани за оперативно оптимизиране чрез софтуерна среда*. В тази глава е извършено заснемане на еднолинейните схеми на изследваните електроснабдителни системи, както и вътрешните схеми на разположение

на електрообзавеждането. Анализирани са получените резултати и са идентифицирани основните параметри на изследваните обекти. Определени са токовете на късо съединение на отделните шинни системи в изследваните предприятия. Изчислени са нови настройки на релейната защита както на електропроводните присъединения, така и на мощни асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор за средно напрежение в електрически уредби на електрически централи. Разработени са селективни карти на характеристиките на защитите, както и тяхното графично оформление. Изследвани са преходните и установените процеси в електрическа уредба средно напрежение. На тяхна база е установена връзката между електроснабдяване и електрообзавеждане в преходен режим. Изследвана е вероятността за аварийност при различни схемни решения и са предложени варианти за нейното бързо ограничаване. Анализирана е ползата от въвеждането на бързо автоматично включване на резервата върху статичната и динамичната устойчивост на електроснабдяването и електрообзавеждането на помпени станции с голяма значимост за сигурността на водоподаването на електрически централи.

В края на записката като заключение са оформени направените констатации във вид на релевантни изводи във връзка с проведените изследвания.

Като цяло актуалността на дисертационния труд е свързана с изследване на енергийни системи за производство на електрическа енергия и електроснабдителни системи. Работата е в областта на научните изследвания, свързани с подобряване на енергийната ефективност на компоненти и цялостни системи с индустриално приложение и изследване на енергийно-ефективни технически решения.

Към дисертационния труд са приложени отзиви от фирми и специалисти от практиката, потвърждаващи актуалността на разглежданата тематика.

## **2. Обзор на цитираната литература**

Библиографията обхваща 187 литературни източници, от тях 99 на кирилица, 65 на латиница и 23 от Интернет. Използваните източници са коректно цитирани в записката и обхващат трудовете на български и чуждестранни изследователи и техническа справочна литература, свързани с тематиката на дисертационния труд. Литературните източници засягат изследвания у нас и в чужбина в сферата на електроенергетиката, електрическите централи и подстанции, електротехниката, силовата преобразователна техника, електрическите машини и др.

Ползването и съответно позоваването на тази база на литературните източници е пряко свързано с темата и показва, че кандидатът маг. инж. Ивайло Димитров Иванов е запознат в достатъчна степен със състоянието на проблематиката и е повишил своите знания и компетенции в тази предметна област.

## **3. Методика на изследване**

С оглед ориентираността на докторанта в съвременното състояние на проблематиката е формулирана целта на дисертационния труд.

Методически работата по дисертационния труд е добре структурирана.

Дисертационният труд на маг. инж. Ивайло Димитров Иванов е в област, изискваща компетентност в редица инженерни аспекти. Трябва да се отбележи, че

интердисциплинарният подход и притежаването на специфични познания в областта на Електроснабдяване и електрообзавеждане, Електрически машини, Изчислителна математика, Математическо моделиране са изисквания при организирането, провеждането и анализа на научни изследвания.

Маг. инж. Ивайло Димитров Иванов умело демонстрира специализирани умения, компетенции и знания, включително за синтез и оценка, необходими за решаване на ключови проблеми в сферата на научните изследвания. По този начин той е повишил своята квалификация и се е изградил като изследовател, който демонстрира оригинално мислене и критическо осмисляне на научни и научно-приложни въпроси.

Основните методи за изследване при решаването на конкретните задачи са: аналитични и симулационни методи за оценка. Симулационните изследвания са проведени със специализирани среди и софтуер, а експерименталните изследвания – със съвременна измервателна и диагностична апаратура. Към всяка от главите на дисертационния труд в края са представени съответни изводи с описание на постигнатите резултати.

Налице е съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел на дисертационния труд.

Получените резултати от моделиранията и симулациите могат да намерят широкоспектърно приложение в областта на електроенергетиката при проектиране на силови електрозадвижвания за средно напрежение и оптимизиране на динамичните процеси в тях.

Цялостното впечатление е, че кандидатът владее необходимия математически апарат за целесъобразни приложения, а също е в състояние да решава инженерни задачи, свързани с провеждане на изследователска работа.

#### **4. Приноси на дисертационния труд**

Претенциите на докторанта са общо 8 броя. Съгласно нормативната база приемам, че те имат научно-приложен и приложен характер. Основание за това ми дават и резултатите от проведените изследвания.

Приноси на дисертационния труд:

- 1) Предложени са нови математически модели, които описват и обединяват протичащите процеси и взаимодействия в конфигурацията асинхронна електрическа машина – помпен агрегат за средно напрежение. В получената система от диференциални уравнения се отчита факторът хлъзгане на обединената електромеханична система.
- 2) Създадени са компютърно ориентирани алгоритми за прякото практическо приложение на моделите на базата на предходния пункт и е избран подходящ за конкретните задачи софтуер за решаване на системите диференциални уравнения, описващи електромагнитните и електромеханичните преходни процеси при различни условия и параметри на електрозадвижванията на помпени агрегати за средно напрежение.
- 3) Проведени са теоретични изследвания на помпени агрегати за средно напрежение, обусловени от факта, че понастоящем у нас, а и по света, масово са в експлоатация помпени станции, задвижвани от такива двигатели.

- 4) Извършени са изследване и анализ на качеството на преходните процеси при самопускане на АДНСП за средно напрежение и изследване на изчислителния път за получаване на настройките на ЦРЗ за осигуряване на самопускане.
- 5) Изследвано е влиянието на времето върху качеството на преходния процес при протичане на АВР.
- 6) Извършен е обзор на аварийността на АДНСП за средно напрежение, както и текущото състояние на системите за диагностика и мониторинг.
- 7) Проведени са експериментални измервания на хармонични съставлящи на напрежението и тока и са изчислени общите коефициенти на хармоничното изкривяване.
- 8) На базата на практически измервания със съвременен диагностичен комплекс по време на експлоатация на помпена станция е доказана ефективността от използването на системи за функционална диагностика.

Приемам приносите, като основателни с характер на обогатяване на съществуващи знания и научни разработки с приложения в науката и практиката.

## **5. Публикации и цитирания на публикации по дисертационния труд**

Изследванията по дисертационния труд са апробирани в 9 (девет) публикации. Те обхващат периода след 2016 г., като това са доклади на международни конференции и статии в годишници или известия на университети и научни организации. Три от тях са в научни списания (две в „Machines, Technologies, Materials“ и една в университетското издание „Efimie Murgu“, Решица, Румъния). Една от публикациите е самостоятелна, а останалите са в съавторство с научен ръководител.

Заглавията и съдържанието на представените публикации са пряко свързани с темата на дисертационния труд и получените резултати, които са включени в отделни части на записката. Седем публикации са на английски език. Считаю, че е постигната необходимата публичност на получените резултати пред научната общност.

От приложената справка за известни цитирания на публикациите по дисертационния труд се вижда, че две публикации са цитирани общо 6 пъти. На тяхна база маг. инж. Ивайло Димитров Иванов има в базата данни SCOPUS h-index 2.

## **6. Авторство на получените резултати**

Въз основа на получените впечатления за научноизследователската дейност на кандидата маг. инж. Ивайло Димитров Иванов, представянето му на научни конференции и провежданите дискусии по тематиката на дисертационния труд и свързаните с нея научни проблеми, представената записка и релевантните приложени публикации считаю, че предложеният дисертационен труд е негово лично дело. Приложена е декларация за авторство.

## **7. Автореферат и авторска справка**

Авторефератът е структуриран в общ обем от 58 стр., формат А5. Включва обща характеристика на дисертационния труд и изложение, което представлява достатъчна по обем извадка от разработката. Отразени са основните изследвания, резултати и изводи (в

обем от 48 стр.), както и приносите, публикациите, свързани с дисертацията, цитиранията на научните трудове. Представена е и кратка анотация на английски език.

В авторската справка е упоменато участието в пет научноизследователски проекти, финансирани целево от държавния бюджет, които са подпомогнали разработването на дисертацията. Представени са резюмета на български и английски език на публикациите, свързани с дисертационния труд.

Считам, че Авторефератът и авторската справка удовлетворяват изискванията и отразяват достатъчна част от постигнатите резултати.

## 7. Забележки по дисертационния труд

Дисертационният труд е с изразен приложен характер, което подкрепя неговата тежест и качество. Добро впечатление прави комбинирането на знания от различни области, като електрически машини, изчислителна математика, математическо моделиране, електрически измервания и др.

Към дисертационния труд имам забележки от технически характер и следните препоръки:

По-съществените забележки и препоръки по дисертационния труд и автореферата са:

- Да се прецизира използваната терминология. На редица места в записката се срещат чуждици. Да се избягва последователното цитиране на много литературни източници.
- Тематично дисертацията е насочена в областта на електрическо обзавеждане и снабдяване на ниво средно напрежение. Представените в т. 3.5 след страница 110 резултати се отнасят до електрически двигатели за ниско напрежение с номинална мощност до 5 kW. За да могат да бъдат отнесени към мощни електрически двигатели на средно напрежение е целесъобразно да се представи подходящ математически апарат (например от теорията на подобие) и извеждането на съответни индикатори, критерии, заместващи схеми и т.н.
- Библиографията да бъде оформена в съответствие с изискванията.
- Подходящо е да се приложат данни за синтезираните модели и от проведените експериментални изследвания.
- Препоръчвам авторът да продължи научната си дейност в предметната област като насочи своите усилия към въпросите, свързани с проектирането и експлоатацията на електрическо обзавеждане за средно напрежение, експериментална оценка на надеждността и осигуряването на изискваните стойности на показателите на надеждност.

Посочените от мен забележки и препоръки не омаловажават извършената научно-изследователска дейност от маг. инж. Ивайло Димитров Иванов. Считам, че дисертационният труд постига заявената цел, а дефинираните задачи са изпълнени на високо научно ниво и дисертацията има завършен характер.

## 8. Заключение

Считам, че представеният дисертационен труд **отговаря** на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България. Постигнатите

резултати ми дават основание **да предложи** да бъде придобита образователната и научна степен

„Доктор”

от маг. инж. Ивайло Димитров Иванов

в област на висше образование - 5. Технически науки,

професионално направление - 5.2. Електротехника, електроника и автоматика,

докторска програма - Електроснабдяване и електрообзавеждане.

31.05.2021 г.

/п/

**ДОЦ. Д-Р ИНЖ. ИВАЙЛО СТЕФАНОВ СТОЯНОВ**

*Рецензент,*

*съгласно Заповед №3-01-208/17.05.2021 г. на Ректора на ТУ – Габрово*