

## РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен  
„доктор”

Автор на дисертационния труд: **маг. инж. Георги Димитров Желев**

Тема на дисертационния труд: **Моделиране на електромагнитни процеси в трифазно индукционно устройство с разцепена фаза**

Рецензент: **проф. д-р инж. Бохос Рупен Апрахамян, Технически университет – Варна**

Дисертационният труд е с обем от 147 страници, включително 94 фигури, 5 таблици и 4 приложения. Основният текст е изложен на 139 страници и се състои от съдържание, увод, пет глави, библиография, списък на публикациите по темата на дисертационния труд и 4 приложения.

**1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение. Степен и мащаб на актуалността на проблема и конкретните задачи, разработени в дисертацията.**

Индукционното загряване на промишлена честота се използва за тела със значителни габаритни размери или за топене. Използването на еднофазни индуктори при високи мощности е свързано със симетриране на товара, което внася редица затруднения при реализирането му. Това налага използването на трифазни индукционни устройства, при които проблемът симетриране практически отпада. Основен проблем при трифазните индукционни устройства с радиално разположение на индукторите се явява наличието на въртящо се магнитно поле. В определени процеси за термична обработка, където неподвижността на детайла не е задължително условие, като например повърхностна термична обработка на детайли и топене, това не представлява съществен проблем, но при обработка на малки детайли, особено когато детайлът е разположен върху индукторите, въртящото се магнитно поле е нежелателно явление.

Разглежданата в дисертационния труд конструкция на трифазно индукционно устройство е базирана на оригинално авторско свидетелство № 42348 от 1986 година, като електромагнитните и топлинни процеси все още не са достатъчно пълно изследвани. Устройство може да се използва за загряване на детайли с цилиндрична форма и дискови детайли, както и за топене. Изследването на магнитното поле позволява да се проучи подробно и усвои една такава нетрадиционна конструкция, както и да се оптимизира в конструктивно отношение. Използването на тримерен математичен модел е стъпка в тази посока.

Няма достатъчно научни изследвания и приложни примери по разглежданата тема. Причините за това са няколко – специфичната особеност на конструкцията, изразена в броя и разположението на бобините, липса на пряка методика за оразмеряване и широко приложение в практиката на трифазни индукционни устройства с разположение и вид на намотките, различни от изследваната в дисертационния труд конструкция.

Дисертационният труд разглежда конкретни проблеми, свързани с изследване на електромагнитните процеси в трифазно индукционно устройство със специфична конструкция. Поради това считам, че темата е актуална и представлява интерес за всички занимаващи се с проблемите на специалните индукционни устройства.

## **2. Познава ли дисертантът състоянието на проблема и оценява ли творчески литературния материал.**

При изясняване състоянието на проблема, авторът се позовава на значителен брой литературни източници – 105, от които 35 на латиница, 48 на кирилица и 22 интернет сайта.

Избраните методики на изследванията са правилни и дават адекватен отговор на поставената цел и задачите, свързани с нея в дисертационния труд. Получени са съществени научно приложни приноси, значими както за теорията, така и за практиката.

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

Формулираната основна цел на дисертационния труд е изследване на електромагнитните процеси в трифазно индукционно устройство със специфична конструкция, изразена в разцепване на една от фазите, в режим на празен ход и под товар.

За изпълнение на тази цел са формулирани и решени следните задачи:

1. Електромагнитно изчисляване при условия за симетрия на токовете в трите фази – пресмятане на магнитните проводимости между ядрата, броя на навивките на неразцепените и разцепената фази, собствените индуктивности на всяка от бобините и тока на празен ход;
2. Изследване на индукционното устройство в режим на празен ход – пресмятане на токовете без отчитане и с отчитане на загубите в магнитопровода и намотките, отчитане на общите загуби и влиянието на броя на навивките на разцепената фаза върху симетрията на токовете;
3. Създаване на триизмерен геометричен модел и изследване на електромагнитното поле в устройството в режим на празен ход;
4. Теоретично изследване на електромагнитните процеси в трифазното индукционното устройство в режим под товар;
5. Създаване на триизмерен геометричен модел и изследване на електромагнитното поле в устройството в режим под товар;
6. Изследване на разпределението на електромагнитното поле в товара;
7. Извършване на експериментални изследвания в режим на празен ход и под товар за оценка адекватността на създадените геометрични модели.

Целта на дисертацията е ориентирана към изследване на електромагнитните процеси в трифазно индукционно устройство с разцепена фаза. За изпълнение на тази цел са формулирани седем задачи. Те са дефинирани реалистично и съответстват на поставената цел.

## **4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд.**

В дисертационния труд са представени резултати от изследване на трифазно индукционно устройство с разцепена фаза, чиято конструкция представлява магнитопровод с четири явно изразени ядра, върху които са поставени бобини. Предмет на изследването е електромагнитното поле в това трифазно индукционно устройство с разцепена фаза в режим на празен ход и под товар, както и разпределение на електромагнитното поле в товара.

В първа глава са описани физичните свойства на процеса индукционно нагряване, представена е класификация на видовете устройства за индукционно нагряване и е извършен сравнителен анализ на съществуващите към момента трифазни индукционни устройства. Класифицирани са методите за определяне на магнитните проводимости, извършен е сравнителен анализ на използваните към момента програмни продукти за моделиране и са изведени основни изводи от извършения литературен обзор, определящи целта и задачите на дисертационния труд.

Във втора глава на дисертационния труд се разглеждат подробно описание на трифазното индукционно устройство с разцепена фаза, пресмятане на магнитните проводимости между ядрата, броя на навивките на бобините на неразцепените и разцепената фази, собствената индуктивност на всяка бобина, реактивното индуктивно съпротивление на трите фази, тока на празен ход на трите фази и минималното сечение на проводника.

В трета глава е описано изследването на трифазното индукционно устройство при работа в режим на празен ход, което включва: пресмятане на токовете в трите фази и нулевия проводник с и без отчитане на загубите в магнитопровода и намотките, изследване изменението на токовете в трите фази и нулевия проводник в зависимост от броя на навивките на разцепената фаза и изследване на електромагнитното поле в режим на празен ход.

В четвърта глава са представени изследвания, които са продължение на изследванията за отчитане на загубите в трифазното индукционно устройство, работещо в режим на празен ход, описани в предходната глава. Към показания анализ на електромагнитните процеси в трифазното индукционно устройство освен магнитните проводимости (респективно съпротивления), отчитащи магнитните потоци на разсейване, са отчетени магнитните съпротивления на въздушната междина между магнитопровода и товара, представляващ феромагнитен диск, както и магнитното съпротивление на диска.

В пета глава са представени обобщени анализи и изводи. Оценени са резултатите свързани с оразмеряване на трифазното индукционно устройство и електромагнитно изчисляване при условие за симетрия на токовете в трите фази.

Съобразно теоретичните пресмятания е изработен експериментален прототип на устройството, позволяващ нагряване на дискови и цилиндрични детайли. Разработена е методика и са пресметнати токовете в трите фази с отчитане на загубите в магнитопровода и намотките. Създадени са геометрични триизмерни модели на трифазното индукционно устройство с помощта на програмните продукти SolidWorks и Comsol Multiphysics и са моделирани електромагнитните процеси в трифазно индукционно устройство с разцепена фаза.

**5. Научни и научно-приложни приноси на дисертационния труд. Значимост на приносите за науката и практиката.**

При реализирането на разработката са извършени много експериментални изследвания. Използван е съвременен софтуер за провеждане на теоретични изследвания чрез моделиране и симулации, като Comsol Multiphysics, SolidWorks и PTC Mathcad.

Въз основа на представения дисертационен труд и публикациите може да се направи най-общо изводът, че са постигнати редица положителни резултати с приносен характер, по-значимите от които са:

**Научно - приложни приноси:**

1. Предложена е нова методика за оразмеряване на трифазно индукционно устройство и описание на условието за симетрия на токовете. Създаден е триизмерен модел на трифазното индукционно устройство с разцепена фаза.
2. Създаден е нов математичен модел за пресмятане на магнитните проводимости на трифазно индукционно устройство в режим на празен ход и под товар. Предложеният математичен модел може да бъде използван за изследване, оптимизиране и усъвършенстване на конструкцията на устройството и получаване на предварително зададено разпределение на магнитното поле в товара.
3. Предложена е нова методика за теоретично пресмятане на общите загуби в режим на празен ход на трифазно индукционно устройство с разцепена фаза, която е приложима и за корекция на броя на навивките на разцепената фаза с цел по-добра симетрия на токовете в трите фази. Извършен е анализ на симетрията на токовете в трифазното индукционно устройство, работещо в режим на празен ход, при промяна на броя на навивките в разцепената фаза.
4. Получени са потвърдителни данни за картината на електромагнитното поле на трифазно индукционно устройство. Изследването е насочено към режима на празен ход при отчитане на загубите в магнитопровода и намотките, с цел установяване на изходното разпределение на магнитното поле.
5. Получени са потвърдителни данни за електромагнитното поле на трифазно индукционно устройство под товар, представляващ феромагнитен диск. Изследването е свързано с получаване на картината на разпределението на електромагнитното поле в посоченото устройство и товара.

**Приложни приноси:**

1. Предложена и анализирана е нова конструкция на трифазно индукционно устройство, позволяващо нагряване и топене на метали при липса на въртящо се магнитно поле и при симетрия на токовете в трите фази. Предложената конструкция дава възможност за нагряване на метални дискове и др. детайли при работа на устройството със захранващо напрежение на промишлена честота без необходимост от допълнителни електронни устройства за промяна на параметрите на захранващото напрежение. Устройството дава възможност за нагряване на детайли, геометричните размери на които позволяват разполагането им между бобините на устройството, което представлява интерес и може да бъде обект на бъдещи изследвания.

**6. Може ли да се оцени в каква степен дисертационния труд и приносите представляват лично дело на дисертанта?**

Аналитичното изложение на материала, критичното отношение към собствените резултати и стремежът те да бъдат сравнени с такива на други автори, множеството числени и натурални експерименти са свидетелство за оригиналността на дисертационния труд и неговите научно-приложни приноси.

Доказателство в това отношение са и публикуваните резултати по дисертацията, които имат своето значимо присъствие сред материалите в тази важна и актуална област, каквато е индукционното нагряване.

Освен това инж. Георги Желев е представил декларация за оригиналност на научните приноси съгласно чл. 27, ал. 2 от Правилника за приложение на ЗРАСРБ.

#### **7. Преценка на публикациите по дисертационния труд: брой, характер на изданията, в които са отпечатани.**

Основните постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 6 статии, от които 1 - в Годишника на ТУ-Варна и 5 - в Сборници с трудове на международни конференции. Една статия е самостоятелна, а останалите са в съавторство. Четири статии са индексирани в базата данни Scopus.

Изпълнени са Минималните национални изисквания за придобиване на ОНС „доктор“, определени от Правилника за приложение на ЗРАСРБ.

#### **8. Резултатите от дисертационния труд използвани ли са вече в научната и социалната практика?**

Няма представени доказателства за внедряване на резултатите на дисертационния труд.

#### **9. Мотивирани препоръки за бъдещо използване на научните и научно-приложните приноси: какво и къде да се внедри.**

Бих препоръчал резултатите от дисертационния труд да бъдат използвани за конкретни препоръки към производителите на трифазни индукционни устройства за загряване на детайли с дискова или цилиндрична форма.

Резултатите от изследванията в дисертацията могат да бъдат използвани и в учебния процес.

#### **10. Авторефератът направен ли е съгласно изискванията, правилно ли отразява основните положения и научните приноси на дисертационния труд?**

Авторефератът е разработен съгласно изискванията на Приложение 4 на Правилника за приемане, обучение на докторанти и придобиване на образователната и научна степен „доктор“ и научна степен „доктор на науките“ на ТУ – Варна. Той правилно отразява основните положения и научните приноси на дисертационния труд.

Авторефератът дава ясна представа за същността на проблема, целта и задачите на дисертацията както и за пътя по който те се решават. Кратко и ясно са изложени резултатите от анализа, моделирането и експериментите, изводите и приносите.

#### **11. Критични бележки по дисертацията, включително и по литературната осведоменост на кандидата.**

Съществени забележки и препоръки към дисертационния труд нямам. Като рецензент на проекта за дисертация, представен за предварителна защита, бях отправил няколко конкретни забележки и препоръки за подобряване на представения материал.

Прави впечатление, че инж. Георги Желев като цяло се е съобразил с направените критични бележки по представения за предварителна защита материал.

Повечето забелязани междувременно технически неточности и пропуски също бяха своевременно коригирани.

Прави впечатление също, че и след представяне на дисертационния труд, инж. Георги Желев продължава да работи по тематиката на дисертацията и предлага план за бъдещи изследвания.

#### **12. Други въпроси, по които рецензентът счита, че следва да вземе отношение.**

Личните ми впечатления от над 5-годишното ми познанство в професионалната сфера с инж. Георги Желев са много добри. Като отговорен изследовател той се стреми към изчерпателност и точност на изследванията, на тяхното оформяне и публикуване.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Въз основа на изложеното по-горе относно актуалността, съдържанието и значимостта на научно-приложните приноси на дисертационния труд „Моделиране на електромагнитни процеси в трифазно индукционно устройство с разцепена фаза“, неговият обем и качеството на постигнатите научни резултати, считам, че той представлява завършено научно изследване.

Получени са редица положителни резултати с научно-приложен характер, представени на високо научно ниво по подходящ начин. Основните резултати са добре апробирани на редица национални и международни форуми и отпечатани в реферирани издания. Разработката съответства на изискванията на ЗРАСРБ и Правилника за неговото приложение за получаване на образователна и научна степен “доктор”.

Предлагам на уважаемото Научно жури да присъди образователната и научна степен “доктор” на маг. инж. Георги Димитров Желев.

Дата: 10.01.2022 г.

РЕЦЕНЗЕНТ:

проф. д-р инж. Бохос Апрахамян