

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: **доц. д-р Петко Христов Машков, Русенски Университет „Ангел Кънчев”**

Представеният дисертационен труд включва 139 страници, 90 фигури, 5 таблици, като основното съдържание е систематизирано в 5 глави. Представени са списъци на използваната литература, на публикациите по темата и четири 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.

На 14.07.2021 г. бе публикуван документът „Директива на Европейския Парламент и на Съвета относно енергийната ефективност” (преработен). Той се явява логично продължение на решенията и директивите на управляващите органи в Европейския съюз - Директива 2009/125/ЕО на Европейския парламент, Директивата за енергийна ефективност от 2012 г. (2012/27 / ЕС), приетата през 2018 г. директива относно енергийната ефективност (2018/2002) до 2030 г. , както и Препоръка 2019/1659 на Комисията от 25 септември 2019 година във връзка с целта за намаляване на емисиите на парникови газове с най-малко 40 % до 2030 г. в сравнение с 1990 г. и най-малко 32,5 % икономии на енергия за Съюза до 2030 г.

Основните акценти в тези документи са свързани с усъвършенстване и подобряване на енергийната ефективност на разработваните технологии и съоръжения.

Реализираните задачи и постигнатите приноси в предложената ми за рецензия дисертационна разработка ми дават основания за заключението, че актуалността и значимостта на разработвания проблем в научно и научно-приложно отношение не будят съмнение.

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

Авторът е извършил задълбочено проучване на проблемите, свързани с разработваната тематика, като за целта е използвал 105 литературни източника. От тях 15 са на български език, 57 на английски език, а 33 са на руски език. На базата на аналитичен преглед на постигнатото в областта са изяснени съвременните тенденции, свързани с моделирането, проектирането и реализацията на устройства за индукционно нагряване.

Формулирани са някои от съществените проблеми, свързани с разработките в областта. Творческият анализ на известните резултати е дал възможност за формулиране на адекватни задачи за постигане на крайната цел на дисертационния труд.

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

Във връзка с направения анализ и изводи е формулирана целта на настоящата дисертация: **моделиране 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.**

Формулирани са следните задачи, релевантни на поставената цел:

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. Изследване на трифазното индукционно устройство при работа в режим под товар – теоретично изследване на електромагнитните процеси в устройството, създаване на триизмерен геометричен модел и изследване на разпределението на електромагнитното поле в устройството и в товара.

5. Извършване на експериментални изследвания в режим на празен ход и под товар за оценка адекватността на създадените геометрични модели.

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

Във втора глава на дисертационния труд са представени изчисленията, свързани с оразмеряване на експериментално трифазно индукционно устройство. Проектирането е извършено с помощта на програмния продукт SolidWorks. Избрани са размери на магнитопровода, като при проектирането са взети мерки за избягване на насищането му. Определени са магнитните проводимости между и над ядрата. Изчислени са броят на навивките за бобините на неразцепените фази и за бобините на разцепената фаза.

На базата на резултатите от теоретичните изчисления е изработен експериментален модел на устройство за индукционно нагряване, при което намотките на разцепената фаза са изработени от шест отделни секции. Това дава възможности за детайлни експериментални изследвания при промяна на броя на навивките на секциите на разцепената фаза и верифициране на резултатите, получени при моделирането – както на празен ход, така и под товар.

Пресметнати са индуктивностите и реактивните съпротивления на трите фази; определени са необходимите сечения на проводниците, използвани в

експерименталния макет. Направени са изводи относно възможностите за симетрия на токовете при работа на устройството.

В трета глава на дисертационния труд са представени резултатите от теоретичните и експериментални изследвания на работата на разработеното устройство за индукционно нагриване в режим на празен ход. Извършени са изчисления за големината на токовете в отделните фази с и без отчитане на загубите в намотките и магнитопровода. Получените теоретични резултати са верифицирани чрез експериментални изследвания. Използвани са класически измервателни уреди – ватметри и амперметри, както и комбиниран измервателен уред *PowerLogic* серия *PM5560* на фирмата *Schneider*.

Извършени са теоретични и експериментални изследвания на изменението на големината на токовете при промяна на броя на навивките на бобините на разцепената фаза. С помощта на измервателното устройство *Schneider PowerLogicPM5560* и съответното програмно обезпечаване към него е получена информация за фазовите напрежения и токове, токът в нулевия проводник, активна, реактивна и пълна мощност, фактора на мощността и хармоничното замърсяване в зависимост от броя на навивките на разцепената фаза.

В трета глава е извършено и теоретично изследване на магнитното поле на трифазното индукционно устройство с разцепена фаза с помощта на софтуерния продукт за 3D моделиране *COMSOL MULTIPHYSICS 5.2a* (в режим на празен ход). За оценка на адекватността на модела са проведени експериментални изследвания върху реализираното индукционно устройство. За отчитане стойността на магнитното поле в ядрата и около намотките са използвани по пет сонди с по 10 навивки всяка. Разпределението на магнитното поле над ядрата и между тях е изследвано с подвижна сонда с 40 навивки. Представените данни показват много добро съответствие между резултатите, получени от теоретичния модел и от експерименталните изследвания.

В четвърта глава са представени резултатите от теоретичните и експериментални изследвания, получени при работа на индукционното устройство под товар. Изследванията са извършени с поставен върху устройството стоманен феромагнитен диск, през който се затваря магнитното поле. Теоретичното изследване обхваща пресмятане на електромагнитните параметри в режим на натоварване - магнитни съпротивления на въздушната междина и диска, магнитните проводимости, загубите от вихрови токове и хистерезис и загуби в намотките.

За оценка на получените теоретични резултати са извършени експериментални изследвания. Като товар са използвани дискове от феромагнитна стомана с диаметър 300 mm и дебелина 3 mm, 8mm и 10 mm. Измерванията са извършени при промяна на броя на навивките на намотките на разцепената фаза между 440 и 190 с малка стъпка, което позволява прецизно изследване на реалните характеристики на разработеното устройство. С помощта на измервателното устройство *Schneider PowerLogic PM5560* са получени: векторни диаграми на напреженията и токовете при различни дебелини на товара и различен брой на навивките; големините на токовете в трите фази и нулевия проводник, ъгъла на дефазирание на токовете и напреженията, активната, реактивната и пълната мощност в зависимост от дебелината на диска. Изследвана е големината на тока в нулевия проводник в

режим на празен ход и под товар при различна дебелина на диска от броя на навивките в бобините на разцепената фаза.

В тази глава са представени и изследвания, свързани с разпределението на електромагнитното поле в товара (ферромагнитния диск). Разработен е модел, изграден на базата на метода на крайните елементи, реализиран с помощта на софтуерния продукт *COMSOL MULTIPHISICS*.

Верификацията на разработения модел е реализирана чрез експериментални изследвания, като са използвани два диска от ферромагнитна стомана с диаметър 300 mm и дебелина 4 mm и 10 mm, върху които са разположени измервателни сонди. Получените резултати потвърждават адекватността на разработения модел. Важен резултат е отсъствието на ротационно разпределение на полето в детайла, т.е. липсата на въртящо се магнитно поле.

В пета глава са представени анализи и изводи за работата на разработеното устройство (големината на токовете, големината на активната, реактивната и пълната мощност и $\cos\phi$) в режим на празен ход и под товар в зависимост от броя на навивките на бобините на разцепената фаза.

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

На базата на представения дисертационен труд и публикациите, свързани с него смятам, че могат да се формулират следните по-значими научно-приложни приноси:

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 разпределението 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 ферромагнитен

диск. Изследването е свързано с получаване на картината на разпределението на електромагнитното поле в разработеното устройство и в товара.

Приложни приноси:

Предложена, реализирана и изследвана 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. Разработената конструкция дава възможност за нагряване на метални дискове и други детайли при работа на устройството със захранващо напрежение на промишлена честота без необходимост от допълнителни електронни устройства. Устройството дава възможност за термична обработка на детайли, чиито размери позволяват разполагането им между бобините на устройството.

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

Представеният ми за рецензия материал, информацията, с която разполагам, както и публикациите по темата на дисертацията ме водят до убеждението, че основните резултати от дисертационния труд са лично дело на дисертанта. Дисертантът 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 резултати от дисертационния труд са представени в 6 публикации, от които 1 - в Годишник на ТУ-Варна и 5 - в Сборници с трудове на международни конференции. Една статия е самостоятелна, а останалите са в съавторство (5 – с научния му ръководител). Четири от статиите са реферирани в SCOPUS, като авторът има 3 цитирания в SCOPUS.

Представените публикации доказват, че основните резултати от дисертационния труд са добре апробирани на редица национални и международни форуми и са станали известни на научната общност.

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.

Получените значителни научно-приложни и приложни резултати могат да бъдат използвани в няколко насоки:

- Резултатите могат да бъдат директно използвани в учебния процес на част от електро специалностите, както и за разработки в магистърски и докторски програми, свързани с приложения на математично моделиране при разработка на технически изделия.

- При наличие на интерес от промишлеността резултатите от разработката могат да се приложат за оптимизация на конструктивни и технологични

параметри на съществуващи инсталации, при разработка на нови инсталации за индукционно нагриване, при разработка на инструкции за експлоатация.

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. В него коректно са представени основните положения и научните приноси на дисертационния труд.

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

Нямам съществени забележки и препоръки към дисертационната разработка. В предварителната рецензия бях направил някои препоръки за редакционни изменения, които са реализирани. Направените забележки в никакъв случай не омаловажават многото, добре свършена работа и постигнатите значими резултати за науката и практиката.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на изложените по-горе анализи относно резултатите от представената ми разработка, тяхната актуалност, оригиналност, значимост за науката и практиката смятам, че дисертационният труд „**Моделиране на електромагнитни процеси в трифазно индукционно устройство с разцепена фаза**” е завършено научно изследване и отговаря на изискванията на ЗРАСРБ и Правилника за неговото приложение за получаване на образователна и научна степен “доктор”.

Това ми дава основание да дам положителна оценка на дисертационния труд и да препоръчам на членовете на уважаваното научно жури да гласуват за придобиване от маг. инж. **Георги Димитров Желев** на образователна и научна степен „доктор” по научна специалност: „Електротехнологии и нанотехнологии в електротехниката“ към професионално направление: 5.2 „Електротехника, електроника и автоматика“, област: 5. Технически науки.

Дата: 16.01.2022 г.

Рецензент:

Доц. д-р. Петко Машков