

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 – „Индустриална електроника”

Автор: Валери Петков Петков, магистър инженер,

Тема: „Разработване и изследване на системи за безконтактно предаване на
електрическа енергия с ротационно движение”

Рецензент: Николай Любославов Хинов, доцент, д-р

Технически университет – София, катедра „Силова електроника“

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем

Безконтактното предаване на електрическа енергия намира много широко приложение в индустрията, битата, транспорта, военното дело и редица други области. Внедряването на тази авангардна технология се дължи от една страна на усъвършенстването на силовите полупроводникови прибори, а също така и на останалите градивни елементи на силовата електроника. От друга страна се развиват и самите силови схеми на електронните преобразуватели като целта е оптимизирането на техните работни режими. Разработката и синтезирането на нови феромагнитни материали, произведени с помощта на нови иновативни материали, способства за подобряване на електромагнитната връзка между предавателя и приемника, и съответно до намаляване на загубите от разсейване на магнитното поле при този метод на предаване на енергия. По този начин се получават значително по-приемливи стойности на масогабаритните и ценови показатели на устройствата базирани на безконтактното предаване на електрическа енергия (БПЕ). Горезагаданото обяснява широкото използване и непрекъснато разширяване сферите на приложение на БПЕ, които заменят досега използваните подвижни контактни системи. В този аспект темата на дисертационния труд е несъмнено актуална, защото е свързана с изследване, разработка и развитие на система за БПЕ с приложение в индустрията.

2. Степен на познаване състоянието на проблема

В дисертационния труд са използвани 125 източника (научни публикации, презентации, проспектни материали, патенти и уеб адреси) като голямата част от тях са цитирани от автора в текста. Над 90% от източниците са на латиница, а техните автори са известни и доказани световни учени в тази област. В работата също така са представени продуктите на водещи фирми производители на електронни и магнитни

компоненти. Докторантът задълбочено и точно е анализирил литературните източници и на тази основа правилно е избрал проблемите за решаване в своя дисертационен труд. Това ми дава основание да твърдя, че авторът отлично познава съвременното състояние на проблема.

3. Съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел

Целта и задачите на работата могат да бъдат дефинирани по следния начин: на основата на задълбочени проучвания на известните и използваните в момента системи за БПЕ да се създаде, изследва, оптимизира и на тази база да се подобрят показателите на ротационни системи за безконтактно предаване на електрическа енергия с приложение в индустриалното производство.

Приложената методика на изследване включва *сравнителен анализ, оптимален синтез, математични анализи, компютърно моделиране, експериментални изследвания и на базата на това създаване на прототип на реална апаратура*, част от която е внедрена. Считам, че избраната методика съвсем точно съответства на поставените цел и задачи на дисертационния труд.

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

Дисертационният труд е в обем 179 машинописни страници и е структуриран в четири глави, увод, заключение и библиографска справка. Допълнително към него има 3 приложения на 16 страници. Всяка глава завършва с анализ и изводи по получените резултати.

Първата глава е посветена на литературен обзор, свързан с целта и задачите на дисертационния труд. Последователно са разгледани възможните варианти за контактно предаване на енергия между въртящи се обекти. След това са представени основните методи за БПЕ. Направен е аналитичен обзор на различните видове безконтактни ротационни системи, като са посочени конкретните им сфери на приложение. Описани са и съответстващите им блокови схеми, като на тази основа са дефинирани основните изисквания към тях и изграждащите ги функционални модули. Разгледани са видовете конструкции на ротационни безконтактни трансформатори. Посочени са проблемите, методите и средствата за оптимизиране на системите, чрез подобряване на ефективността и конструкцията. Накрая на главата са формулирани основните проблеми за решаване в труда.

Във втора глава са изследвани електрическите и електромагнитни процеси на ротационен безконтактен трансформатор. Първоначално са разгледани физичните параметри и характеристики на системата. Изведени са изрази за определянето на основните параметри на двете намотки – предавателна и приемна. Направено е сравнение на основните параметри на магнитната система при използване на различни конфигурации на намотките. Извършено е триизмерно моделиране на трансформатора с

помощта на специализиран софтуер за електромагнитен компютърен анализ, в резултат на което са посочени начини за намиране на оптимални стойности, необходими за физическата реализация на устройството.

Вследствие на цялостната работа по главата е извършена количествена оценка на видовете загуби в магнитната система и с цел подобряване на ефективността са избрани методи за тяхното редуциране.

В трета глава е представена методика за проектиране на ротационен трансформатор за БПЕ. Направен е сравнителен анализ на видовете схеми за компенсиране индуктивността на намотките на трансформатора. Представени са аналитични зависимости, с които се описва еквивалентния импеданс на безконтактния модул, в зависимост от вида на използваната компенсация. Изследването на електромагнитните процеси в системата и режимите на работа е извършено чрез компютърни симулации, като за източник на високочестотна енергия е използван полумостов резонансен инвертор. Чрез симулационния модел е направена оценка на влиянието на изменението на товара и на въздушната междина върху параметрите на резонансната верига. Вследствие на анализа на резултатите е установено, че следва да се работи в режим на резонанс, като за неговото поддържане е проектирана PLL система за управление на електронния преобразувател.

Много добро впечатление прави пълнотата на изследванията и задълбочения анализ на получените резултати.

В последната четвърта глава са представени експериментални резултати от работата на синтезираната, проектирана и реализирана ротационна система за БПЕ, които са както следва: изследване на предложена конструкция и метод за подобряване предаването на енергия; количествена оценка на влиянието, което материалът на шасито на ротационния трансформатор (РТ) оказва върху ефективността и електромагнитната съвместимост на устройството; температурен анализ на РТ; изследване влиянието на скоростта на въртене върху ефективността на предаването на енергия; разработване и внедряване на комплексна система за съвместно предаване на енергия и информационни и управляващи сигнали от предавателната към приемната намотка.

В приложението е включена допълнителна информация за някои от решените задачи в дисертационния труд, като целта е допълнително да се поясни и разшири материала, разгледан в отделните глави. Представена е съответната техническа документация съдържаща принципните схеми на всеки от модулите, изграждащи системата за БПЕ, съответно: полумостов резонансен инвертор; PLL система за управление; комуникационен модул за предаване и приемане на информационни сигнали.

В края на дисертацията е дадено авторското виждане за приносните елементи на дисертацията. Аз приемам голяма част от авторските претенции.

При извършеното сравнение на резултатите от математическия анализ и моделиране и на експерименталните данни получени от опитните образци,

се установява добро съвпадение (в повечето случаи до 5% разлика). Те ми дават основание да не се съмнявам в достоверността на представения материал, върху който се градят авторските приноси.

5. Научни и научно-приложни приноси на дисертационния труд

Според мен основните приноси в дисертацията могат да бъдат обобщени по следния начин:

1. Направен е задълбочен критичен анализ на състоянието, техническите и икономически ограничения, перспективите за развитие и масово внедряване на системите за БПЕ.

2. Създаден е симулационен модел, алгоритъм и методика за проектиране и компютърно моделиране на ротационен трансформатор с неговите основни конструктивни възли – съставен магнитопровод, конфигурация на намотките и взаимното разположение на предавателния и приемния модул. Доказана е приложимостта на тази методология за системи за БПЕ.

3. Предложен е метод, за оптимизиране на работата на ротационния трансформатор, чрез последователна компенсация на първичната и вторичната му страна (S-S компенсация). Аналитично е доказано, че той е най – удачен и ефективен. Ефективността на метода е потвърдена и чрез компютърни симулации и експериментално.

4. Разработени са конструктивни решения за подобряване на коефициента на магнитна връзка k при системите за БПЕ. Дефинирани са условията, при изпълнението на които в даден диапазон на изменение на въздушната междина, предложената конструкция осигурява неизменна стойност на k .

5. Изследвано е технологично решение за увеличаване на въздушната междина при системите за БПЕ, чрез използване на пасивен резонансен LC кръг. Прилагането му позволява увеличаване на δ приблизително 2,8 пъти, в сравнение с варианта без допълнителна намотка (LC резонансен кръг), при запазване на ефективността.

6. Извършен е параметричен анализ на влиянието на коефициента на магнитна връзка и натоварването при БПЕ и S-S компенсиране. Чрез разработени симулационни модели е изследван начинът, по който изменението на съответния параметър влияе върху параметрите на резонансния кръг и съответно на ефективността на системата.

7. Чрез практически експерименти са получени следните резултати: направена е количествена оценка на влиянието, което материалът на шасито на ротационния трансформатор (РТ) оказва върху ефективността и електромагнитната съвместимост на устройството; температурен анализ на РТ; изследване влиянието на скоростта на въртене върху ефективността на предаването на енергия;

8. Проектирана и внедрена е PLL система за управление на ВЧ

инвертор, която осигурява работа на безконтактния модул в режим на резонанс и съответно ефективно съгласуване между предавателната и приемната част. С това се гарантира устойчивост при следните често срещани смущения като: промени на въздушната междина; разместване при позиционирането между намотките (направление x, y и z); динамично изменение на натоварването. Разработена и внедрена е система за комуникация, осигуряваща съвместно предаване на енергия и данни през предавателната и приемната намотка.

След внимателен и задълбочен анализ на дисертационния труд, смятам, че получените резултати в работата представляват безспорен принос за инженерната наука и съвременна практика в областта на силовите електронни преобразуватели и системи с технологично приложение.

6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите

От приложенияте към дисертационния труд публикации и от участието и докладването на автора в научни конференции съм напълно убеден, че приносите са лично дело на дисертанта.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Основните теоретични и приложни резултати от дисертационния труд са представени общо в 12 публикации, които се класифицират както следва:

- в международни списания с импакт-фактор и/или импакт-ранк (2 броя): по 1 публикация в "Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences" и „Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved)“;

- в международни конференции в чужбина (2 броя): PCIM Europe, International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management Germany - 2016 и 2018г.;

- в международни конференции в България, индексирани в Scopus (1 брой): статия на конференция организирана от ТУ-София/ФЕТТ - 26th International Scientific Conference Electronics, ET 2017;

- в български научни списания (3 броя): 1 публикация в "Електротехника и електроника Е+Е" и 2 в „Годишник на ТУ-Габрово“;

- в международни конференции в България (4 броя): статии на конференция организирана от ТУ-Габрово - УНИТЕХ 2015 и 2016г.

Докторантът има една самостоятелна публикация и е предоставил данни за две забелязани цитирания. Смятам, че резултатите от работата по дисертационния труд са станали достояние на нашата и международна научна общественост.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика

По своята същност, цел и поставени задачи дисертацията е изследване с практическа ориентация. По време на разработването на труда са създадени експериментални образци и е внедрена ротационна система за БПТ.

9. Мотивирани препоръки за бъдещо използване на научните и научно-приложните приноси

Авторът би могъл да фокусира в няколко основни насоки своите бъдещи изследвания: комплексно моделиране на системата електронен преобразувател – ротационен трансформатор; изследване на нейната електромагнитна съвместимост, а също и реализация на високочестотния захранващ източник със схеми на резонансни инвертори с подобрени характеристики.

10. Оценка на съответствието на автореферата с текста на дисертацията

По моя оценка авторефератът съответства на текста, духа и приносите на дисертацията. Той е подробен и би могъл бъде самостоятелно четен и разбран. В сравнение с дисертацията са направени някои редакционни корекции, като по този начин са отстранени правописни, смислови грешки и неточности и дублирани означения.

11. Мнения, препоръки и бележки.

Тези бележки са индивидуално виждане на рецензента и не задължават автора.

- приносите в края на дисертацията до голяма степен отразяват постигнатите резултати и е хубаво, че са конкретни. По мое мнение те би следвало да се обобщят и редактират така, че да се открият по-добре претенциите на автора за научните, научно-приложните и приложни приноси, като в същото време те трябва да са в синхрон с поставените в първа глава задачи за решаване;

- повечето от забележките, които бях направил на предварителното обсъждане на дисертационният труд са отстранени и коригирани;

- в текста макар и сравнително рядко се срещат правописни грешки и неправилно членуване. На места се използва неясен и неточен текст – отбелязал съм ги в ръкописа;

- препоръчвам фиг. 3.8, 3.11 и др. да се нарекат „симулационен модел на..“, още повече по този начин са именувани фиг. 3.17, фиг. 3.23 и т.н.;

- съществена част от изследванията е посветена на: количествена оценка на влиянието, което материалът на шасито на ротационния трансформатор (РТ) оказва върху ефективността и електромагнитната съвместимост на устройството; температурен анализ на РТ; изследване влиянието на скоростта на въртене върху ефективността на предаването на енергия, а резултатите и направените изводи не са включени в приносите;

- формули 1.28 и 1.29 от стр. 37, които касаят резонансни честоти на последователни кръгове са непълни;

- при показаната от автора добра осведоменост и степен на владение на съвременните софтуерни продукти, едно естествено продължение и потвърждение на неговите изследвания е извършването на моделиране симулационни изследвания с пакетите ORCAD, PCIM, PLEX, MATLAB/Simulink и др.

11. Заключение с ясна положителна или отрицателна оценка на дисертационния труд

Оценката ми за цялостната работа на докторанта е **положителна**. В резултат на посочените до тук постижения в дисертационния труд, смятам, че той напълно съответства на изискванията на **Закона за развитието на академичния състав в Република България** и изцяло отговаря на Правилника за неговото приложение, а също така и на **Правилника за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в ТУ-Габрово** за получаването на образователна и научна степен **ДОКТОР**. Предлагам на уважаемите членове на научното жури да се присъди на магистър инженер **Валери Петков Петков** образователна и научна степен „**ДОКТОР**“ в област на висше образование 5. Технически науки, професионално направление 5.2 Електротехника, електроника и автоматика и докторска програма „Индустриална електроника“.

Дата: 24.07.2019г.

РЕЦЕНЗЕНТ: /п/

/доц. д-р инж. Н. Хинов/