

# РЕЦЕНЗИЯ

Върху дисертационния труд за придобиване на образователно-научна степен „ДОКТОР”

**Автор на дисертационния труд:** маг. инж. Емил Стефанов Барудов

**Тема на дисертационния труд:** „Изследване и анализ на електрически процеси във вериги с устройства за дискретно управление на големината на променливо напрежение ”

**Рецензент:** доц. д-р инж. Петър Иванов Василев, ТУ – Варна.

## 1. Актуалност на разработения в дисертационния труд проблем.

Електрическата енергия е специфична стока, която трябва да бъде доставена на потребителите с определено качество. За потребителите на ниско напрежение (НН) в точката на присъединяване (точката за търговско измерване на консумираната електрическа енергия от абонатите) нейното качество, съгласно стандарт БДС EN 50160:2003 „Характеристики на напрежението на електрическата енергия....” се определя от различни показатели по важни от които са: честота, големина, бързи и бавни изменения, хармонични съставни и други. На практиката тези параметри се влияят от редица системни и случайни фактори, поради което стойностите им се лимитират в определени граници от стандарта. За разлика от другите стоки, върху качеството на електрическата оказват влияние не само производителите, електропреносните и разпределителни системи, но и самите консуматори. Изискванията на цитирания стандарт не се отнасят за качеството на електрическата енергия на клемите на консуматорите, а имат значение за точността с която средствата за търговското измерване (СТИ) на електрическата енергия отчитат консумираната от абонатите ел. енергия.

Качеството на електрическата енергия на клемите на консуматорите може да се осигурява само съвместно от производители, преносители, разпределители и потребители на електрическа енергия. От казаното следва, че само комплексния подход към проблема за качеството на генерираната, пренасяна и разпределена до клемите на консуматорите електрическа енергия, може да реши проблема за електроенергийната ефективност.

Ако на редица от показателите за качеството на електрическата енергия в точката на присъединяване (честота, големина, бързи и бавни изменения, хармонични съставни и др.) влияят основно производителите, преносителите и разпределителите, на измененията и на хармоничните съставни на клемите на консуматорите, особено за консуматори с дълги линии (селски и вилни райони) на големината на захранващото напрежение могат да влияят целенасочено и потребителите, така, че да се удовлетворяват изискванията за нормална работа на отделни или група потребители.

С решаването на този проблем се занимават редица водещи в света учени и организации. На този проблем е посветена и представената ми за рецензиране дисертационна работа.

Отчитайки гореизложеното, става очевидно, че поставената в дисертационния труд цел, заключаваща се в разработване и компютърно изследване на математически модели на системата електропреносна мрежа (ЕПМ) – дискретен регулатор на променливо напрежение (ДРПН) – товар (Т) („ЕПМ- ДРПН Т”) и като резултат създаване на устройства за дискретно управление големината на променливо напрежение – (УДУГПН) е актуална и значима. Значимостта на работата се потвърждава от разработването и внедряването в практиката на серия УДУГПН.

## **2. Познание състоянието на проблема и оценка на литературния материал**

За постигане на поставената цел, както се вижда от представените за рецензиране материали, дисертантът решава следните основни задачи:

1. Разработване на модел на системата „ЕПМ – УДУГПН – Т”, за анализ на електрическите процеси в установен режим.
2. Разработване на алгоритъм за превключване на съседни управляеми тиристорни ключове (УТК), недопускащ претоварване на елементите в силовата верига спрямо установения режим, при осигуряване бързодействие на превключването и общ коефициент на хармонични изкривявания в рамките, определени от нормативните документи.
3. Разработване на модел, описващ динамиката на процесите в системата, подходящ за анализ на комутационните процеси.
4. Разработване на специализиран алгоритъм за решаването на матричните диференциални уравнения, описващи преходните процеси в режим на комутация, без да се натрупва грешка.
5. Провеждане на сравнително изследване между експериментални и аналитични резултати за количествена оценка на достоверността на компютърните симулации.
6. Разработване на схемотехнически решения за управление превключването на УТК, в съответствие с приетия алгоритъм и система за управление на броя и мощността на присъединените товари с цел ограничаване токовото натоварване на ЕПМ във функция от режима на работа на УДУГПН.

Така формулираните и решени в дисертационната работа задачи са резултат и логично следствие от критичния анализ на нерешените въпроси, позволяващи решаването на задачата за енергийната ефективност в системата „ЕПМ – УДУГПН – Т”, . Практическият опит, който дисертантът е придобил като участник в разработването на редица устройства по проекти и договори и критичния подход при анализ на нерешените въпроси, почиващ на базата на литературния обзор, показват познание на проблема по същество.

Реферираните литературните източници са общо 156, от които 69 са на кирилица, а останалите на латиница, сред които №:98 е в превод на български език. Най-стария литературен източник (№:7) е от 1970 г., но всички са по темата на дисертацията. Несъмнено, гореизложеното показва, че авторът познава същността на разглежданите въпроси и проблеми, има свое становище по проблемите на електрически процеси във вериги с устройства за дискретно управление на големината на променливо напрежение, които успешно развива и защитава в дисертационния труд.

## **3. Избраната методика за изследване може ли да даде отговор на поставената цел и задачи на дисертационния труд.**

При разработване на дисертацията е избран комплексен подход за изследване, а именно:

- теоретични изследвания, основани на математическо моделиране, базирано на методите за анализ на стационарни и преходни процеси в електрически вериги;
- числените методи за решаване на системи матрични диференциални уравнения;
- експериментални лабораторни и натурни изследвания;
- компютърни симулации на нелинейни електрически вериги в интегрираната среда MATLAB;
- сравнителен анализ и количествена оценка на точността на компютърните симулации, теоретичните и експериментални изследвания.

Както се вижда, дисертантът е имал възможност да анализира богата и разнообразна

информация, включително да използва и модерни съвременни компютърни методи за симулационно моделиране на системата „ЕПМ – УДУГПН – Т” с цел намиране на пътища за повишаване на енергийната ефективност на ЕЕС. Изработените устройства и моделирането са му дали възможност да получи значителна по обем и с висока степен на достоверност експериментална информация и по този начин да направи заключения, които потвърждават теоретичните изследвания.

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

Поставените в дисертационния труд задачи, дисертантът е разработил и изложил в 4 глави с обем от 153 стр., в които са включени съдържанието и списъкът на реферираната литература. Към дисертационния труд са приложени съответно:

- Приложение I - Системи уравнения на УДУГПН за R-L и R-C товари, описващи трите интервала на комутационния процес;
- Приложение II - Осцилограми на токовете на УДУГПН при включване последователно на всички степени;
- Приложение III - Становища и референции за дисертационния труд.

Резултатите от решаването на първата задача от дисертационния труд са изложени в първа глава с обем от 18 стр. Тук дисертантът е анализирал и оценил възможните приложения на УДУГПН при вариране на входното захранващо напрежение в по-широк диапазон в зависимост от физическите параметри на ЕПМ и режимите на експлоатацията и. Много правилно е показано, че за удовлетворяване изискванията за минимални загуби, УДУГПН следва да се базира на монофазни или трифазни волтодобавъчни многонамотъчни автотрансформатори с безконтактно превключване на изводите към товара, като в качеството на превключващи елементи трябва да се използват управляеми полупроводникови ключове – (УПК). Като резултат от изложеното е разработен и изложен принципът на действие на блоковата схема на устройство за дискретно управление големината на променливото напрежение. Извършен е анализ на процесите в трифазни мрежи с включени трифазни УДУГПН с различни мощности и установени режими на работа. Получените резултати за конкретни практически задачи са реализирани, като са разработени и внедрени УДУГПН за мощности от 2.5 до 14 kW. Експерименталното изследване на последните в експлоатационни условия показва добро съвпадение с теоретичните резултати.

Особено внимание в тази глава заслужават и следва да бъдат високо оценени резултатите от изследването на обратното влияние на работата на УДУГПН върху големината на захранващото напрежение на входа на стабилизатора с отчитане мощността на товара и степента на превключване.

Втора глава на дисертационния труд е посветена на разработването на алгоритми за превключване на съседни УТК под товар и експерименталното изследване на устройство за дискретно управление големината на променливото напрежение, при:

- вариация на захранващото напрежение;
- характера и мощността на товара;
- началото на комутационния процес.

Тук особено внимание е отделено на изследването на хармоничните съставни на тока и напрежението, както на входа така и на изхода на УДУГПН. Особено внимание е обърнато и на изследването на режимите при които е възможно претоварване на силовите елементи при комутация, в резултат на което е предложено, така нареченото от дисертанта „синхронизирано превключване” след определен ъгъл спрямо входното захранващо напрежение. Тази новост е защитена със свидетелство за полезен модел „Дискретен стабилизатор на променливо напрежение”- BG1727 U1 от 07.08.2013г.

Днес методите на математическото моделиране и на тази база компютърно изследване

намират изключително приложение в много области на техниката. В трета глава са изложени именно резултатите от разработването на математически модели и алгоритми, позволяващи моделиране работата на УДУГПН при различни работни и аварийни режими. Разработени са математически модели във форма на системи диференциални уравнения, съответстващи на алгоритъма за превключване на УТК, състоящ се от три интервала. Моделите позволяват изследване за R-товар, за RL-товар и за RC-товар. За първия интервал е приложен метода с контурните токове в комплексна форма, като системата диференциални уравнения се решава по метода на Гаус-Джордан; във втория и третия интервали е приложен метода с променливите на състоянието, като системите се решават по метода на Рунге-Кута-4 във времевата област. Възникналият проблем с разредеността на матриците в системата диференциални уравнения във форма на Коши е решен чрез декомпозицията на изходната система. Предложеният алгоритъм е реализиран в компютърната среда MATLAB, като е разработена автоматизираната компютърна програма AVTO за симулиране, изследване и оптимизиране на процесите в УДУГПН с УТК. Резултатите от симулацията с програмата AVTO на реален физически УДУГПН с УТК съвпадат с висока степен на точност с тези от изследванията на реалния УДУГПН с УТК.

Синтезът на управлението на превключването на УТК в УДУГПН и защитата от претоварване на елементите в силовата верига са изложени в четвърта глава на дисертационния труд. Разработен е алгоритъм за управление на превключването, като е доказано, че за УДУГПН с до четири УТК, схемата за управление на превключването на последните по обобщен критерий (надеждност и цена) е целесъобразно да се реализира с дискретни елементи, а при по-голям брой УТК с микропроцесорно управление.

С цел повишаване на надеждността на цялата система много правилно е решен въпроса с галваничното разделяне между силовите и оперативни вериги, като за целта са избрани оптично управляеми симистори тип МОС 3023.

Особено внимание е отделено и на защитата при аварийни режими, които могат да възникнат при претоварване и късо съединение, както на входа, така и на изхода на УДУГПН. В защитите са отчетени и възможностите за включване на така наречените „тежки товари“, т.е. уреди и системи с асинхронни двигатели, които, както е известно в класическия си вариант имат голям пусков ток. Разработените и реализирани схеми за формиране на сигнал за изключване при претоварване на системата на практика са показали своята функционалност.

Наличието на токоограничение на входа на УДУГПН, води до намаляване на допустимата мощност на товарите, което поставя задачата за въвеждането на система за управление на товарването на системата. За целта е разработена и реализирана система с микропроцесорно управление на мощността на присъединените товари. Създадените алгоритми и програмно осигуряване позволяват дискретно изменение на броя на товарите и респективно общия товар на УДУГПН при вариация на напрежението на ЕПМ. Изследвана е също така и възможността за дистанционно включване и изключване на товарите.

Експерименталните изследвания и дългогодишна експлоатация на внедрените в практиката образци на УДУГПН са доказали работоспособността на разработените и реализирани от дисертанта технически решения.

## **5. Научни и научно-приложни приноси на дисертационния труд.**

По мое мнение, в представената за рецензиране дисертация, получените резултати са както с научен, така и научно-приложен характер. Научните и научно-приложни приноси могат да се класифицират и обобщят, както следва:

### **5.1. Формулиране или обосноваване на нов научен проблем (област) или нова теория (хипотеза).**

По мнение на рецензента дисертацията приноси в тази група няма.

## **5.2. Доказване с нови средства на съществени нови страни в съществуващи научни проблеми и теории.**

- 5.2.1. Определена и доказана е максималната мощност, отдавана от автотрансформаторен регулатор на променливо напрежение към товара при работа в мрежа с ограничена мощност, във функция от нейните параметрите.
- 5.2.2. Изследвано и е определена степента на обратното влияние на УДУГПН върху големината на напрежението на ЕПМ във функция от товара.
- 5.2.3. Разработен е оптимален, в определен смисъл (бързодействие и претоварването на елементите от силовата верига) алгоритъм, базиран на декомпозиране управлението на превключването на УТК, отнасящо се към изменението на големината на входното захранващо напрежение в съответствие със стандарта БДС EN 50160.-  
Декомпозирането на управлението на превключване е новост, защитена със свидетелство за полезен модел.
- 5.2.4 Разработени са математически модели, описващи динамиката на системата „ЕПМ – УДУГПН – Т”, отчитащи параметрите и характера на товарите на всичките и елементи (трансформатори СН/НН, кабелите, проводниците,  $\cos\phi$ , УДУГПН, товара), позволяващи провеждането на компютърен симулационен анализ с отчитане спецификата при решаване на различни приложни задачи.
- 5.2.5 Разработен е нов специализиран алгоритъм за решаването на матрични диференциални уравнения, чиято матрица е разрежена и почти особена, каквито се явяват матриците на разработените математически модели, описващи динамиката на системата „ЕПМ – УДУГПН – Т”. Стабилността на решенията, получени по разработения алгоритъм не зависят от фазата на комутация, големината и характера на товара. Достоверността на математическия модел и работоспособността на разработения алгоритъм са доказани чрез провеждане на многофакторно сравнително изследване между резултатите от компютърните симулации и физически експерименти върху образец на УДУГПН, при вариране на големината на входното захранващо напрежение, големината и характера на товара и фазата на начало на комутационния процес.
- 5.2.6. Доказано е, че тъй като УДУГПН са силови електронни преобразуватели разположени между ЕПМ и товара, работещи в установен и комутационен режими (превключване изводите на автотрансформатор под товар), а в силовата им верига са включени нелинейни елементи, анализът на електрическите процеси е наложително да се извършва при моделиране на цялата системата „ЕПМ – УДУГПН – Т”.

## **5.3. Получаване и доказване на нови факти.**

- 5.3.1. Експерименталното определяне на параметрите на комутационните процеси в дискретните регулатори на променливи напрежения при различен характер и големина на товара, доказва възможността за реализацията на „синхронизирано” или „несинхронизирано” управление на полупроводниковите тиристорни ключове, при плавно изменение на фазата на началото на комутационния процес и превключване при увеличаване или намаляване големината на захранващото напрежение.
- 5.3.2. Разработена и реализирана система за управление на броя и мощността на

присъединените товари към изхода на УДУГПН, позволяваща:

- ограничаване на токовото претоварване на ЕПМ, възникващо във функция от режима на работа на УДУГПН;
- работа на УДУГПН и при големина на входното захранващо напрежение под минимално допустимата граница, гарантираща параметрите захранващото напрежение на входа на товарите;

Тук трябва да се отбележи, че система за управление на броя и мощността на присъединените товари е новост, защитена със свидетелство за полезен модел.

#### **5.4. Приноси, свързани с практиката**

5.4.1.. Разработени са за нуждите на конкретни възложители УДУГПН, при което:

- внедрените до 1998г. са изцяло с несинхронизирано управление на превключването;
- за внедрените след 1999г. управлението на превключването на УТК е „синхронизирано” при повишаване и „несинхронизирано” при намаляване големината на входното захранващо напрежение;
- след 2012г. УДУГПН са реализирани и със система за управление на броя и мощността на присъединените товари.

5.4.2. Практическата реализация на резултатите от изследванията се изразява в разработване и внедряване на разнообразни дискретни регулатори на променливо напрежение, както следва:

- НППГ-20/98г. Разработване и изработване на гама-стабилизатори за променливо напрежение с мощност от 2,5 до 15kVA.;
- Тема 1392/1998г. Стабилизатори за селски автоматични телефонни централи. Възложител ЕЛТА-Р. Мощност 2kVA. Становище №006/ 21.04.2004г.;
- НППГ-20/1999г. Стабилизатор за променливо напрежение. Възложител ЕТ „Малери”. Мощност 14kVA.;
- НППГ-20/2000г. Еднофазен регулатор на напрежение. Възложител ЕТ „Станка Василева”. Мощност 14kVA.;
- НППГ-20/2000г. Изработване на четири броя стабилизатори на напрежение „Хидроремонт” ООД. Мощност 15kVA.;
- НППГ-20/2001г. Трифазен стабилизатор на променливо напрежение с мощност 48kVA. Възложител ЕТ „Иванов”.;
- Договор ВТП-ТУВ-20.06.2013г. Изработване на автотрансформаторен дискретен регулатор на променливо напрежение 14kVA. Възложител „Журналови 2008” ООД.

Създадената широката експериментална база, както и цитираните по-горе внедрени разработки, точността на предложените математически модели и методите за тяхното решаване са достоверна оценка за приложимостта на избрания подход за решаване на поставените пред дисертационния труд задачи.

В обобщен вид, още веднъж искам да отбележа, че това са основните приноси на дисертационния труд. Те пряко са насочени към практиката с основна цел – създаване на оптимални устройства за дискретно управление на големината на променливо напрежение (УДУГПН), с отчитане на електрическите процеси в системата „ЕПМ – УДУГПН –Т” в динамичен и установен режими, а също и ограниченията от физическите и режимни параметри на всички елементи на системата.

## **6. До каква степен дисертационният труд и приносите са лично дело на докторанта?**

Познавам отблизо дейността на докторанта и неговите ръководители. Това ми дава основание да твърдя, че получените в дисертационния труд резултати са дело на дисертанта под ръководство на научните ръководители. Това ми убеждение се засилва и от задълбоченото и компетентно обсъждане на получените резултати, от направените обобщения и изводи на тази база.

## **7. Преценка по публикациите на дисертационния труд**

По дисертацията са публикувани 9 научни публикации от които:

- една монография в съавторство;
- четири публикации в списания;
- една в университетски периодични издания;
- три в трудове на международни конференции;
- едно свидетелство за регистрация на полезен модел.

Две от публикациите са самостоятелни, а останалите - в съавторство с един от научните ръководители на докторанта и други научни работници. Три от публикациите са на български език, а останалите на английски език. Нямам информация има ли публикации с импакт фактор.

## **8. Използване на резултатите от дисертационния труд в практиката.**

Разработени и внедрена е гама УДУГПН за нуждите на конкретни, от които:

- внедрените до 1998г. са с несинхронизирано управление на превключването;
- внедрените след 1999г. управлението на превключването на УТК е „синхронизирано” при повишаване и „несинхронизирано” при намаляване големината на входното захранващо напрежение;
- след 2012г. всички, общо по 7 договора с клиенти, разработени и внедрени УДУГПН са със система за управление на броя и мощността на присъединените товари.

Разработени и внедрен стенд за експериментално изследване параметрите на комутационните процеси в дискретните регулатори на променливи напрежения.

## **9. Критични бележки и мотивирани препоръки за бъдещо използване на научно приложните приноси.**

Независимо от изложеното по горе, относно изложението и стила на дисертацията, по мое мнение, могат да бъде изказано становище и направени следните бележки:

9.1. Оформянето и стила отговарят на изискванията за структуриране и оформяне на дисертационни трудове.

9.2. Така формулираните задачи за изследване биха били по ясни и конкретни ако:

- Задача 3 – би била по ясна ако беше записано за какъв модел става въпрос – моделите могат да бъдат: физически, математически, модели анализи и т.н.;
- Задача 4 – по правилно би трябвало да бъде формулирана така: Разработване на специализиран алгоритъм за решаването на матричните диференциални уравнения, описващи преходните процеси в системата в режим на комутация, без да се натрупва грешка.

9.3 Названието на първа глава не съдържа глагол. По правилно би било ако беше формулирана така:

„Изследване (или анализ) на установени режими в устройство за дискретно управление големината на променливо напрежение.“

Научните и научно приложните приноси освен в електропреносните мрежи могат да се използват и в:

- учебните дисциплини по електроенергийни системи;
- курсове по енергийна ефективност, които през последните години се провеждат във връзка с Директива 2006/32/ЕС;
- стационарни автономни електростанции и електроенергийни системи на плаващи обекти (специализирани кораби и технически средства за усвояване ресурсите на океана )

#### **10. Автореферат на дисертацията.**

Представеният ми автореферат по дисертационния труд е в обем от 31 страници, оформени по структура и дълбочина съгласно изискванията за оформяне на авторефератите на дисертациите за присъждане на научно-образователна степен „Доктор”. Съдържанието му отразява с необходимата пълнота основните изследвания и научни приноси, получени в дисертационния труд.

#### **11. Други.**

Бих искал да отбележа, че в окончателния вариант на дисертационния труд са намерили отражения всички бележки, които са направени при предварителните обсъждания на работата. По този начин представената ми за рецензиране работа представлява задълбочен всеобхватен изследователски труд. Получените резултати имат голям практически принос.

#### **12. Заключение.**

Темата на дисертационния труд е актуална и цели решаването на важен за практиката въпрос- енергийната ефективност в електроенергийните системи, което е в унисон с проекта за „Енергийна стратегия на България до 2020г.” от ноември 2008г., където е отбелязано „подобряване на енергийната ефективност с темпове, изпреварващи средноевропейските до 2020г. Проведените изследвания и тяхното изложение отговарят на изискванията на Закона за развитие на академичния състав и Правилника за неговото приложение. Публичността на работата е добра, което е доказано с направените 9 публикации.

При обучението на докторанта в докторантура са спазени законовите изисквания по процедурата и сроковете на подготовката. Положени са всички необходими изпити за обучение в докторантура. Научната общност имаше възможност да се запознае с извършеното от докторанта. Личните ми наблюдения и обстойното запознаване с дисертацията ми дават основание да твърдя, че докторантът е доказал, че може да поставя и решава важни научни и научно- приложни задачи.

**Гореизложеното ми дава основание да направя заключение, че дисертационния труд удовлетворява всички изисквания за получаване на научно образователна степен „Доктор”. Оценейки също така учебно-преподавателската, научноизследователската и практическата му дейност, препоръчвам на уважаемите членове на научното жури да гласуват за присъждане на маг. инж. Емил Стефанов Барудов научно-образователната степен „Доктор” в професионално направление: „Транспорт, корабоплаване и авиация”, , специалност: „Електроснабдяване и електрообзавеждане (по отрасли)”.**

05.10.2014;  
Варна

Рецензент:  
(доц. д-р инж. П. Василев)