

**ВВМУ „НИКОЛА ЙОНКОВ ВАЩАРОВ”  
ФАКУЛТЕТ „ИНЖЕНЕРЕН”**

---

---

**Катедра „Електротехника”**

маг. инж. Емил Стефанов Барудов

**ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ  
ПРОЦЕСИ ВЪВ ВЕРИГИ С УСТРОЙСТВА ЗА  
ДИСКРЕТНО УПРАВЛЕНИЕ НА ГОЛЕМИНАТА  
НА ПРОМЕНЛИВО НАПРЕЖЕНИЕ**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

на  
**ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД**

за придобиване на научна степен  
**„ДОКТОР”**

Професионално направление, специалност:  
**„Транспорт, корабоплаване и авиация”**  
**„Електроснабдяване и електрообзавеждане (по отрасли)”**

Научен ръководител: доц. д-р инж. Емил Иванов Панов

Научен ръководител: доц. д-р инж. Марин Михов Недев

Варна, 2014г.

Докторантът работи в ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”, факултет „Инженерен”, катедра  
„Електротехника”.

Изследванията от дисертационния труд са извършени във ВВМУ „Н. Й. Вапцаров” и ТУ-Варна.

Дисертационният труд е насочен за защита от . . . . . (факултет „Инженерен” при ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”) в съответствие на чл.5, ал.1 от ЗРАС.

Автор: маг. инж. Емил Стефанов Барудов

Заглавие: „ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ПРОЦЕСИ ВЪВ ВЕРИГИ С УСТРОЙСТВА ЗА ДИСКРЕТНО УПРАВЛЕНИЕ НА ГОЛЕМИНАТА НА ПРОМЕНЛИВО НАПРЕЖЕНИЕ”

Тираж: 30 броя

**ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА**

## **АКТУАЛНОСТ НА ПРОБЛЕМА**

В последните години цената на енергоносителите расте и това е трайна тенденция. Водят се дискусии за бъдещето на ядрената енергетика. Цената на електроенергията от възобновяемите източници е все още висока и поради спецификата им трябва да се поддържат балансиращи мощности. Поети са ангажменти и национални, и европейски за ограничаване на вредните емисии, а най-евтиния начин за намаляването им е спестяването на електроенергия.

Следователно въпросът за енергийната ефективност и в частност електроенергийната ефективност е изключително актуален.

Не случайно в проекта на „Енергийна стратегия на България до 2020г.” от ноември 2008г. в раздела „преодоляване на различията” е отбелязано „подобряване на енергийната ефективност с темпове, изпреварващи средноевропейските до 2020г. ...”.

В определена степен енергийната ефективност зависи и от качеството на електрическата енергия (КЕЕ). Специфична особеност е, че КЕЕ на мястото на производство не гарантира същите качества на мястото на консумация.

Интелигентните електроразпределителни мрежи са решение в полза на ефективността, екологията и осигуряването на качествена енергия.

В рамките на Европейския съюз, действа Европейската програма за интелигентни мрежи (European Technology Platform Smart Grids), целяща създаването на стратегия за тяхното развитие с фиксиране на основните проблеми, по които е необходимо да се работи.

В „Енерджи ревю”, бр. 2/2010г. е посочено, че постигането на добро качество на електроенергията Power Quality (PQ), изисква непрекъснато поддържане на амплитудата, фазата и формата на мрежовото напрежение и липсата на прекъсвания в електрозахранването. В зависимост от вида на консуматорите се приема, че съществуват две степени на PQ – стандартната е за „обикновените” потребители, например битовите, докато високата (Premium PQ), е за някои индустриални производства (напр. с непрекъснат цикъл), болничните заведения, електротранспорта, определени обществени, правителствени и финансови институции. Степените се отнасят и за електронните устройства (често наричани електронни товари), захранвани от мрежата, чийто дял непрекъснато нараства (в скоро време се очаква те да са над 50% от всички товари), и за чиято нормална работа постигането на определено PQ е задължително.

За реализация на Smart Grids (SG), обезпечаващи PQ, съобразно действащите стандарти се използват две групи средства. Едната включва съвременни проводящи и изолационни материали, устройства за съхраняване на енергия и силова електроника, както и подходящо проектиране на електропреносните и разпределителни мрежи с цел намаляване на влиянието на външните фактори върху PQ. Втората обхваща методите и приборите за бързо и ефективно регистриране на всяка промяна на PQ и взимане на точното решение за възстановяването му, както и съответните устройства.

Устройствата за управление на големината на мрежовото напрежение попадат в тази група и имат разнообразно приложение:

- поддържат диапазон на изменение на големината на входното захранващо напрежение в съответствие с действащите стандарти в електропреносни мрежи;
- редуциране (намаляване) диапазона на изменение на големината на входното захранващо напрежение, представляващ дестабилизиращ фактор за системи от силови електронни преобразуватели, осигуряващи електрозахранването на специфични товари;
- регулиране или стабилизиране на контролирано напрежение в електрически системи за подобряване на КПД на последните и разширяване на диапазона на функционирането им.

Следователно днес устройствата за управление на големината на амплитудата на мрежовото напрежение са:

- елемент от изгражданите SG мрежи и осигуряване на PQ и Premium PQ;
- устройства за подобряване на електроенергийната ефективност и осигуряване на електро спестяващи режими на експлоатация;
- устройства, способстващи за намаляване на вредните емисии.

Посоченото по-горе утвърждава актуалността от разработването и реализацията им за различни приложения, особено в условията на локални мрежи с ограничена мощност. Безопасната и надеждна експлоатация на редица електросъоръжения в този случай предполага присъединяването им към такива електропреносни мрежи след устройства за дискретно управление на големината на променливо напрежение (УДУГПН).

УДУГПН са известни устройства, обект на особено внимание през втората половина на миналия век, свързано с навлизането на мощните тиристори и симистори в практиката.

В литературата отсъства моделиране и многофакторно изследване на електрическите процеси в системата „Електропреносна мрежа (ЕПМ) – УДУГПН – Товар (Т)“ за установен и преходен режими, при обхващане:

- физическите и режимни параметри на ЕПМ;
- етапите на реализация на процеса на комутация съобразно алгоритъма за управление;
- схемното решение на силовата верига на УДУГПН;
- нелинейността на автотрансформатора във функция от режима;
- характеристиките на полупроводниковите тиристорни ключове;
- големината и характера на товара;
- фазата на началото на комутация.

В литературата отсъства алгоритъм за управление на управляемите тиристорни ключове (УТК), съчетаващ предимствата на синхронизираното и несинхронизирано превключване за осигуряване бързодействие при превключването и частично или пълно преодоляващ недостатъците им.

Почти няма сведения за анализ на системата „ЕПМ – УДУГПН – Т“ с отчитане на обратното влияние на УДУГПН върху големината на захранващото напрежение на входа на устройството с оглед определяне мощността и броя на изводите на трансформатора ( $T_p$ ) или автотрансформатора ( $A_{tr}$ ) и броя на УТК.

В литературата отсъства анализ за работата на УДУГПН с наличие на система за управление на броя и мощността на присъединените товари.

Всичко това затруднява разработването на УДУГПН и води до неточности при определяне на товарването на елементите в силовата верига и оказва негативно влияние на синтеза на схемотехническите решения за управление на УДУГПН.

### **ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ**

Обект на изследване е системата „ЕПМ – УДУГПН – Т” за УДУГПН с многонамотъчен Атр и УТК към товара, т.е. работеща при променлива индукция.

### **ПРЕДМЕТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ**

Симулационно и експериментално изследване на електрическите процеси на системата „ЕПМ – УДУГПН – Т”, при обхващане на физическите и режимни параметри на мрежата, структурата, параметрите на елементите от силовата верига на УДУГПН, както и алгоритмите за управлението им, характеристиките на товара и фазата на комутация при отчитане на взаимното им влияние и съвременни схемотехнически решения.

### **ЦЕЛ НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА**

Усъвършенстване на управлението на УТК при превключване под товар. Разработване на модели на системата „ЕПМ – УДУГПН – Т” за многофакторно компютърно симулационно изследване в установен и преходен режими за установяване на диапазона на изменение на големината на входното захранващо напрежение в установен режим, както и продължителността и токовото натоварване на елементите в силовата верига и възникващите комутационни пренапрежения в преходен режими. Провеждане на сравнителен анализ между аналитичните и експериментално получени резултати за оценка на достоверността на компютърните симулации.

### **ЗАДАЧИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ**

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 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 за анализ на комутационните процеси.

4. Тъй като матриците описващи преходните процеси в режим на комутация са разреждени, почти особени матрици, следва да се разработи специализиран алгоритъм за решаването на матричните уравнения 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 за ограничаване токовото натоварване на ЕПМ във функция от режима на работа на УДУГПН.

### **МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ**

За решаване на поставените задачи и постигане на целта са използвани теоретични изследвания основани на математическо моделиране, базирано на методите за анализ на стационарни и преходни процеси в електрически вериги и числените методи за решаване на системи диференциални уравнения; експериментални изследвания в лабораторни условия и в условията на внедрителя, компютърни симулации на нелинейни електрически вериги в интегрираната среда MATLAB и съпоставяне на теоретичните и експериментални изследвания за сравнителен анализ и количествена оценка на точността на компютърните симулации по отношение на основните положения в дисертационния труд.

### **НАУЧНА НОВОСТ В ИЗСЛЕДВАНЕТО**

1. Предложено е декомпозиране на управлението на превключване на УТК, отнасящо се за намаляване и нарастване на големината на входното захранващо напрежение.

Декомпозирането на управлението на превключване е новост, защитена със свидетелство за полезен модел.

2. Предложена е система за управление броя и мощността на присъединените товари към изхода на УДУГПН.

Въвеждането на система за управление броя и мощността на присъединените товари е новост, защитена със заявка за свидетелство за полезен модел.

3. Предложени са математически модели за установен и преходен (при комутацията на УТК) режими на системата „ЕПМ – УДУГПН – Т”.

Математическите модели позволяват многофакторен симулационен анализ при отчитане конкретиката за решаване на различни приложни задачи.

4. Предложен е специализиран алгоритъм за анализ на електрическите процеси в режим на комутация.

Алгоритъмът е новост при решаването на матрични уравнения, чиято матрица е разредена и почти особена.

### **ПРАКТИЧЕСКА ЗНАЧИМОСТ НА РАБОТАТА**

На базата на проведените изследвания в дисертационната работа са разработени и внедрени УДУГПН, удовлетворяващи конкретни изисквания на възложителите:

1. НПП-20/1998г. Разработване и изработване на гама стабилизатори за променливо напрежение с мощност от 2,5 до 15kVA.

2. Тема 1392/1998г. Стабилизатори за селски автоматични телефонни централи. Възложител ELTA-R. Мощност 2kVA. Становище №006/ 21.04.2004г.
3. НПП-20/1999г. Стабилизатор за променливо напрежение. Възложител ЕТ „Малери”. Мощност 14kVA.
4. НПП-20/2000г. Еднофазен регулатор на напрежение. Възложител ЕТ „Станка Василева”. Мощност 14kVA.
5. НПП-20/2000г. Изработване на четири броя стабилизатори на напрежение „Хидроремонт” ООД. Мощност 15kVA.
6. НПП-20/2001г. Трифазен стабилизатор на променливо напрежение с мощност 48kVA. Възложител ЕТ „Иванов”.
7. Договор ВТП-ТУВ-20.06.2013г. Изработване на автотрансформаторен дискретен регулатор на променливо напрежение 14kVA. Възложител „Журналови 2008” ООД.

### **АПРОБАЦИЯ НА РАБОТАТА**

Основните положения и резултати от дисертационната работа за последните години са докладвани и обсъждани:

- на международен конгрес “MEET/MARIND”, Варна 2002г.;
- на международна конференция на университета “Petrol-Gaze”, Плоещ, Румъния 2005г.
- на международна конференция “Materials, Methods and Technologies”, Сл. Бряг 2010 и 2012г.;
- на международна конференция “ELMA”, Варна 2011г.;

### **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИЯТА**

Част от дисертационния труд е публикувана в авторска монография на английски език „Discrete alternating current regulators and stabilizers”, която е разпространена в 14 университета на 11 държави и се разпространява от мрежите на AMAZON, eCAMPUS, DStore, BookPlus и др.

### **Монография**

1. Barudov S., **Barudov E.**, Discrete alternating current regulators and stabilizers. Pensoft, 2006, ISBN 978-954-642-276-7, Chapter II, pp.17÷27.

### **Публикации в списания**

2. **Barudov E.**, Barudov S., Panov E., Switching Processes in a Step Voltage Regulator. Acta Universitatis Pontica Euxinus – Volume IV, Number 1, 2005, pp.21÷25, ISSN 1312-1669.
3. **Barudov E.**, Panov E., Barudov S., Analysis of Electrical Processes in Alternating Voltage Control Systems. Journal of International Scientific Publication: Materials, Methods & Technologies, 2010, Vol. 4, Part 1, pp.154÷182, ISSN 1313-2539.
4. **Barudov, E.**, Experimental Study of the Commutation Processes in Discrete Alternating Voltage Regulator. Journal of International Scientific Publications, Materials, Methods and Technologies, 2012, Vol.6, Part 2, pp.408÷424, ISSN 1313-2539.

### Публикации в университетски периодични издания

5. Барудов Е., Панов Е., Барудов С., Изследване на прецизен нелинеен модел на автотрансформаторен дискретен регулатор на напрежение с полупроводникови комутиращи елементи. Годишник на Технически Университет – Варна, ISSN 1311-896X, 2007, стр.3÷9.

### Публикации на международни конференции

6. Barudov S., **Barudov E.**, Voltage Regulators in Limited – Power Networks. MEET/MARIND 2002, Volume IV, pp.101÷106, ISBN 954-20-0214-9.
7. Barudov S., **Barudov E.**, The Influence of Load on Commutation (Switching) Process Parameters in AC Voltage Switch Type Regulator. Buletinul Universitatii Petrol-Gaze din Ploesti, Volum LVII, Number 2/2005, pp.107÷112, ISSN 1221-9371.
8. Барудов Е., Панов Е., Барудов С., Сравнително изследване на комутиационните процеси в автотрансформаторен дискретен стъпален регулатор на напрежение. ELMA 2011, стр.55÷60, ISSN 1313-4965.

### Свидетелство за регистрация на полезен модел

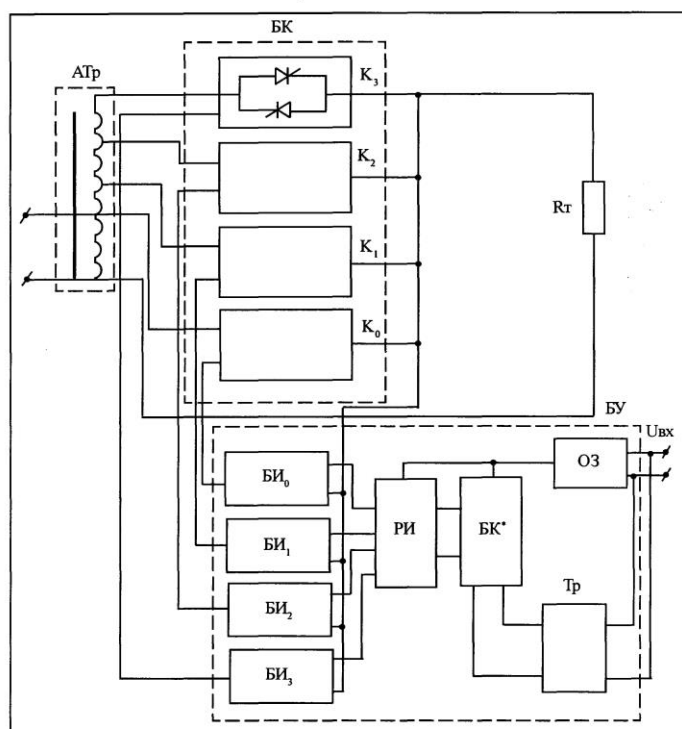
9. Барудов С., Панов Е., Барудов Е., Иванова М., „Дискретен стабилизатор на променливо напрежение”, BG1727 U1 от 07.08.2013.

### Структура и обем на дисертацията

Дисертационният труд съдържа 153 страници, включително 110 фигури, 11 таблици и 3 приложения. Оформен е като въведение, четири глави и списък на използваната литература от 156 заглавия.

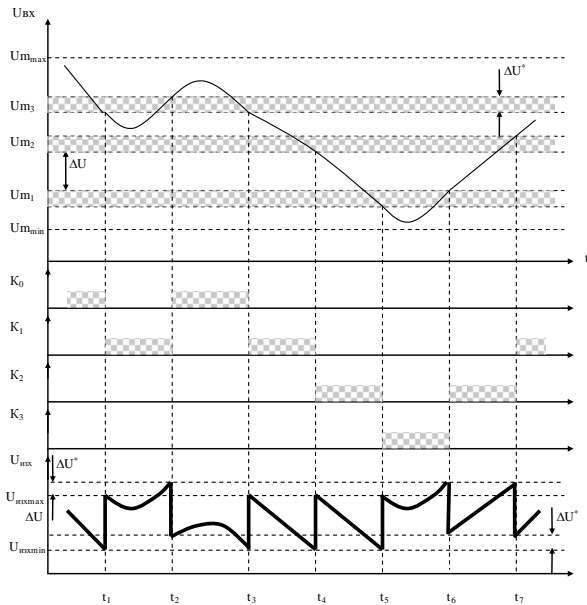
### ОСНОВНО СЪДЪРЖАНИЕ НА РАБОТАТА

В първа глава се изследва и анализира работата на УДУГПН в установен режим. Блоквата схема и времедиаграмите са показани на фиг.1 и 2 където:



Фиг.1. Блокова схема на устройство за дискретно управление големината на променливо напрежение.





Фиг.2. Времедиаграми на величините, свързани с функционалното действие на УДУГПН.

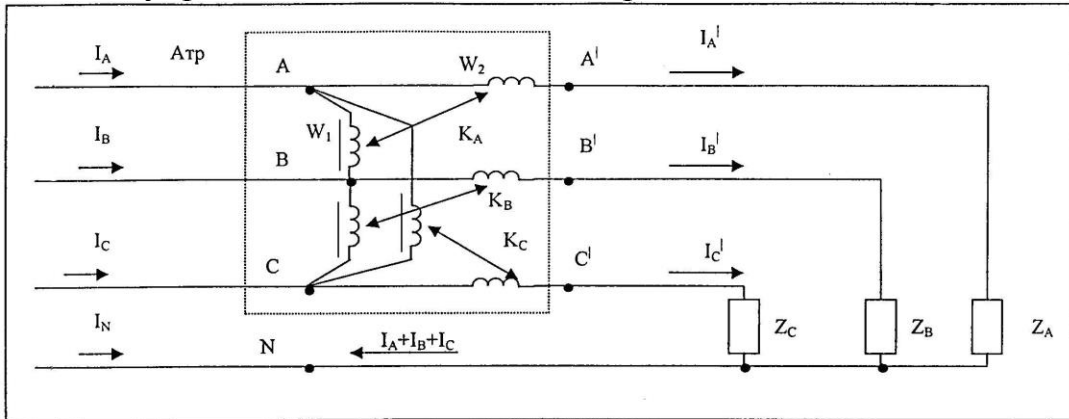
- АТ<sub>р</sub> е волтодобавъчен автотрансформатор с изводи за превключване;
- БК е блок комутатор, изграден на базата на полупроводникови ключове К<sub>0</sub>-К<sub>3</sub>. На фиг.1 ключовете са представени като насрещно свързани тиристори. Броят на ключовете зависи от границите на стабилизиране на изходното напрежение и най-ниската стойност на входното захранващо напрежение;
- Р<sub>т</sub> е товар;
- БУ е блок управление включващ следните модули:
  1. ОЗ - блок за оперативно захранване, осигуряващ необходимото постоянно напрежение на останалите модули;
  2. БК\* - блок компаратори, подаващ сигнал за превключване при достигане на съответното ниво;
  3. РИ - разпределител на импулси, разрешаващ подаването на импулси към тиристорните ключове;
  4. БИ<sub>0</sub>÷БИ<sub>3</sub> - блокове за изработване на управляващи импулси;
  5. Т<sub>р</sub> - синхронизиращ трансформатор.

Функционалното действие на УДУГПН е свързано с времедиаграмите, представени на фиг.2.  $U_{вх}$  е входното захранващо напрежение, което в зависимост от товара и режима на експлоатация на електропреносната мрежа произволно във времето се променя в диапазона от  $U_{m_{max}}$  до  $U_{m_{min}}$ . На графиката са посочени нивата, при които става превключване на съответните ключове –  $U_{m_1}$ ,  $U_{m_2}$  и  $U_{m_3}$ . Защрихованата зона е зона на хистерезис  $\Delta U^*$ , гарантираща устойчиво превключване на ключовете.

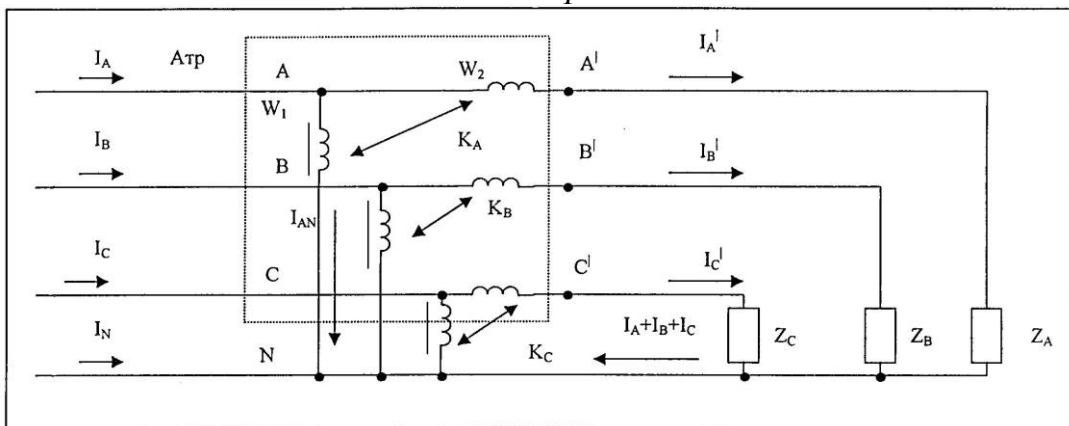
Включването на съответните ключове К<sub>0</sub>-К<sub>3</sub> (заштрихованата част е времето на подаване на управляващи импулси към съответните ключове) е показано на следващите времедиаграми, а изходното напрежение, променящо се в диапазона  $U_{изх_{min}} \div U_{изх_{max}}$ , също може да се проследи от последната времедиаграма. Изборът за стойност на  $\Delta U$  дефинира изисквания към броя на изводите на автотрансформатора, както и към броя на управляемите тиристорни ключове.

Често се налага използването на трифазни УДУГПН. За намаляване степента на взаимно влияние е целесъобразно използването на отделни автотрансформатори, включени в различните фази.

На фиг.3 и 4 е показано свързването на три отделни монофазни автотрансформатора в трифазна верига, свързани съответно  $\Delta$ -Y и Y-Y. На фигурите  $K_A$ ,  $K_B$  и  $K_C$  са коефициенти ( $K_A = \omega_2 / \omega_1$ ).  $\omega_1$  е константа, а  $\omega_2$  зависи от това кой от полупроводниковите ключове е проводящ.



Фиг.3. Схема на три автотрансформатора свързани  $\Delta$ -Y към трифазен товар.



Фиг.4. Схема на три автотрансформатора свързани Y-Y към трифазен товар.

За трифазен УДУГПН е разработен модел ур.(1) даващ възможност с входните бази данни да се обхванат:

- физическите параметри на ЕПМ – геометрия, дължина и типове използвани кабели или проводници (въздушни ЕПМ);
- режим на експлоатация на ЕПМ – симетричен, несиметричен, натоварване на отделните фази в т.ч. преди и след УДУГПН,  $\cos\phi$  на присъединените товари.
- свързване на АТр от УДУГПН  $\Delta$ -Y или Y-Y.

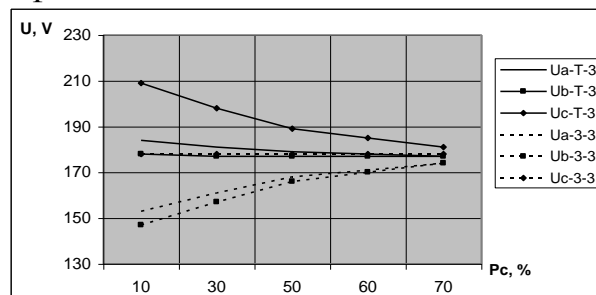
$$\begin{aligned}
 \dot{I}_A &= Y_{AA} \dot{U}_A + Y_{AB} \dot{U}_B + Y_{AC} \dot{U}_C + Y_{AN} \dot{U}_N \\
 \dot{I}_B &= Y_{BB} \dot{U}_B + Y_{BA} \dot{U}_B + Y_{AC} \dot{U}_C + Y_{AN} \dot{U}_N \\
 \dot{I}_C &= Y_{CC} \dot{U}_C + Y_{CA} \dot{U}_A + Y_{CB} \dot{U}_B + Y_{CN} \dot{U}_N \\
 Y_{NN} &= Y_{AN} + Y_{BN} + Y_{CN} \\
 \dot{I}_N &= -Y_{AA} \dot{U}_A - Y_{BB} \dot{U}_B - Y_{CC} \dot{U}_C - Y_{NN} \dot{U}_N
 \end{aligned} \tag{1}$$

Проведено е многофакторно изследване за изменението на големината на захранващото напрежение на входа на УДУГПН при:

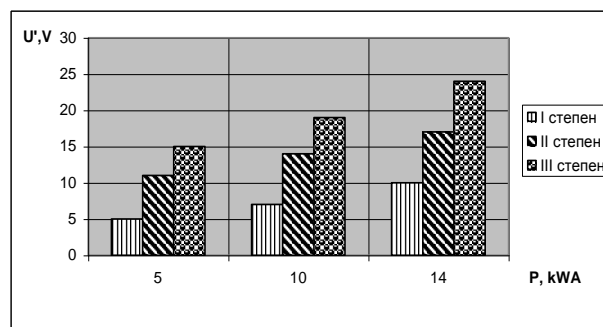
- несиметричен режим на работа, променящо се натоварване след УДУГПН, променящо се натоварване на различните фази и конкретна геометрия на ЕПМ;
- променящ се  $\cos\phi$  на товарите присъединени към една от фазите и при конкретна геометрия на ЕПМ;
- променяща се дължина на ЕПМ за кабелни и въздушни мрежи и в зависимост от натоварването на ЕПМ.

Изследвано е и обратното влияние на работата на УДУГПН върху ЕПМ при отчитане мощност на товара и степен на превключване, върху големината на захранващото напрежение на входа на УДУГПН.

Някои конкретни резултати от проведения симулационен компютърен анализ са показани на фиг.5 и 6.



Фиг.5. Зависимост на фазовото напрежение на входа на УДУГПН от несиметричен товар на мрежата  $P_a=0,8.P_n$ ,  $P_b=0,8.P_n$ ,  $P_c=var$  при товар след УДУГПН  $3 \times 14kVA$  и кабелна мрежа изпълнена с алуминиев кабел в участък  $K 3 \times 95+50$  и  $K_1 3 \times 50+25$ , дължини  $L=0,5km$  и  $L_1=0,05km$ .



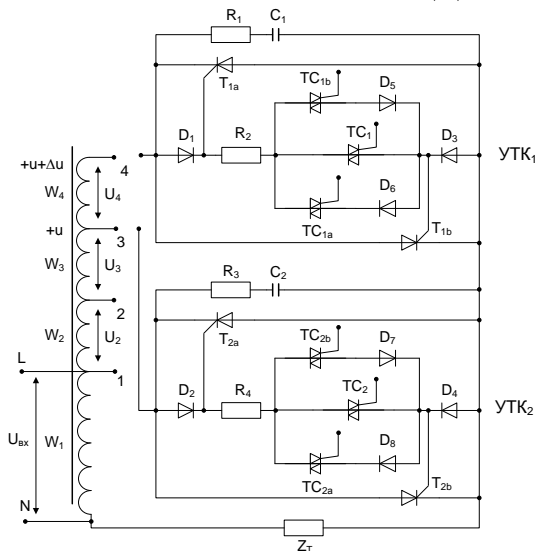
Фиг.6. Обратно влияние на натоварването на УДУГПН (свързан звезда-звезда) с товар  $3 \times 14kVA$  върху параметрите на мрежата. Превключването е извършено при напрежения за I степен 205V, за II степен 185V и за III степен 165V и останалите параметри от фиг.5.

**Във втора глава** е представено експериментално изследване при различни алгоритми за превключване на съседни УТК под товар, както и експериментално изследване на параметрите на комутационния процес (продължителност и натоварване на елементите от силовата верига) за различни големина на захранващото напрежение на входа на УДУГПН; характера и големината на товара и началото на комутационния процес.

Експерименталното изследване обхваща и общия коефициент на хармонично изкривяване по отношение на входния и изходния ток и

напрежение и определяне параметрите на елементите от заместващата схема на многонамотъчния автотрансформатор от УДУГПН във функция от режима на работа.

Принципната схема на два съседни УТК в УДУГПН е показана на фиг.7.

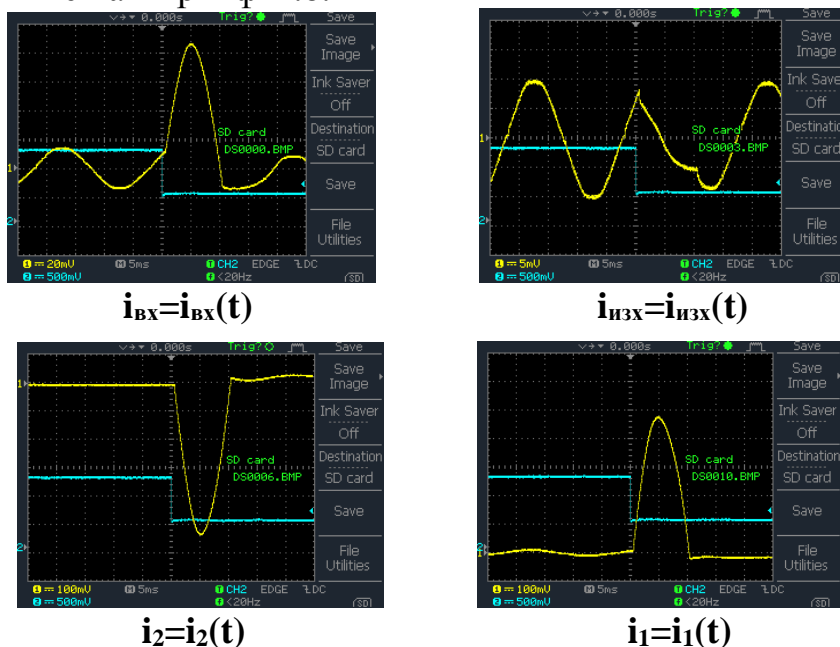


Фиг.7. Принципна схема на два съседни УТК в УДУГПН.

Алгоритъмът на превключване на съседните УТК предполага – първо отпадане на управляващите сигнали към тиристорите от УТК, който следва да се изключи и след това подаване на управляващи сигнали към тиристорите от УТК, който следва да се включи.

При това при намаляване големината на входното захранващо напрежение се създават условия за принудителна комутация на тиристорите от УТК, който следва да се изключи. Процесът се развива за няколко десетки микросекунди и в този случай може да се приложи механизмът на „несинхронизирано превключване“.

При превключване на съседни УТК в условията на нарастване големината на входното захранващо напрежение възникват условия за късо съединение на една от намотките на Атр – фиг.8.



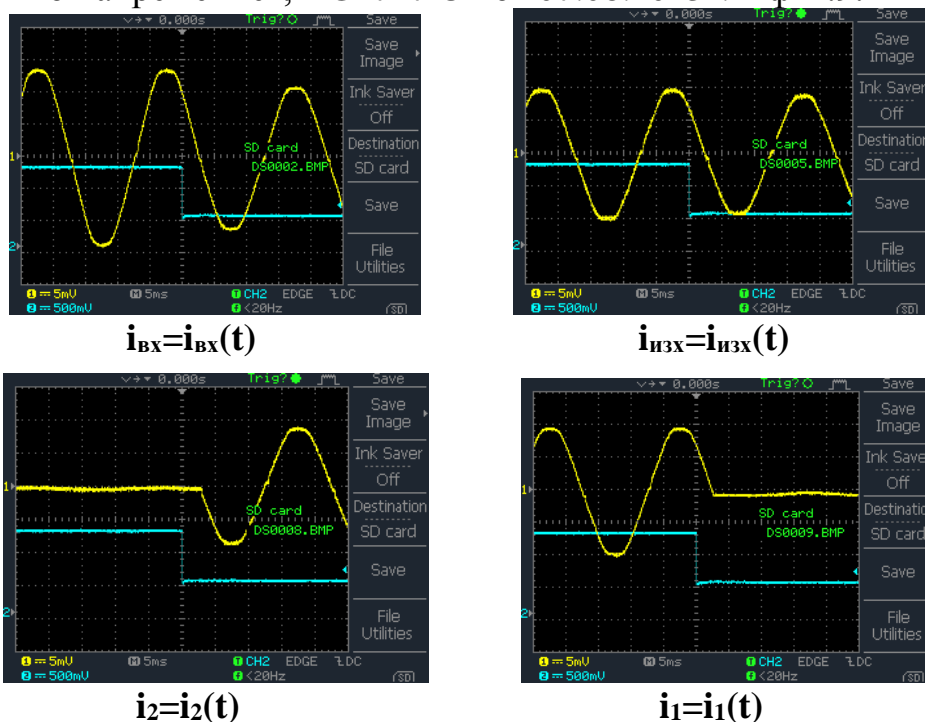
Фиг.8. Осцилограми на токовете в УДУГПН при ъгъл на комутация  $45^{\circ}$  и  $R$ -товар.

В таблица 1 са показани резултатите от експериментално изследване при различни товари ( $R=61,52\Omega$ ;  $R^*=35,7\Omega$ ;  $L=2,17H$  и  $C=40\mu F$ ), ъгъл на начало на комутация и степени на превключване.

Табл. 1

Вид на товара	Узахр=160V. Ключ К3 изключва, а К2 включва.		Узахр=180V. Ключ К2 изключва, а К1 включва.		Узахр=200V. Ключ К1 изключва, а К0 включва.	
	Максимален ток	Време за комутация	Максимален ток	Време за комутация	Максимален ток	Време за комутация
	A	ms	A	ms	A	ms
Ъгъл на комутация	ключ К <sub>2</sub>	ключ К <sub>2</sub>	ключ К <sub>1</sub>	ключ К <sub>1</sub>	ключ К <sub>0</sub>	ключ К <sub>0</sub>
R – 225°	520	10	540	7,5	700	7
R – 270°	380	7,5	480	7	620	6,5
R* – 225°	540	10	520	7,2	700	6,5
R* – 270°	380	7,3	460	7	640	6
RL – 225°	500	10	520	7	680	8
RL – 270°	380	7,5	440	6	640	7
RC – 225°	540	10	520	8	800	8
RC – 270°	380	7,5	460	6,5	640	7

В този случай за преодоляване на претоварването на силовите елементи при комутация спрямо установения режим са изследвани различни варианти на „синхронизирано превключване” и е предложено „синхронизирано превключване” след определен ъгъл спрямо входното захранващо напрежение – новост, защитена със свидетелство за полезен модел „Дискретен стабилизатор на променливо напрежение”, BG1727 U1 от 07.08.2013г. – фиг.9.



Фиг.9. Осцилограми на токовете в УДУГПН при ъгъл на комутация  $135^\circ$  и R-товар.

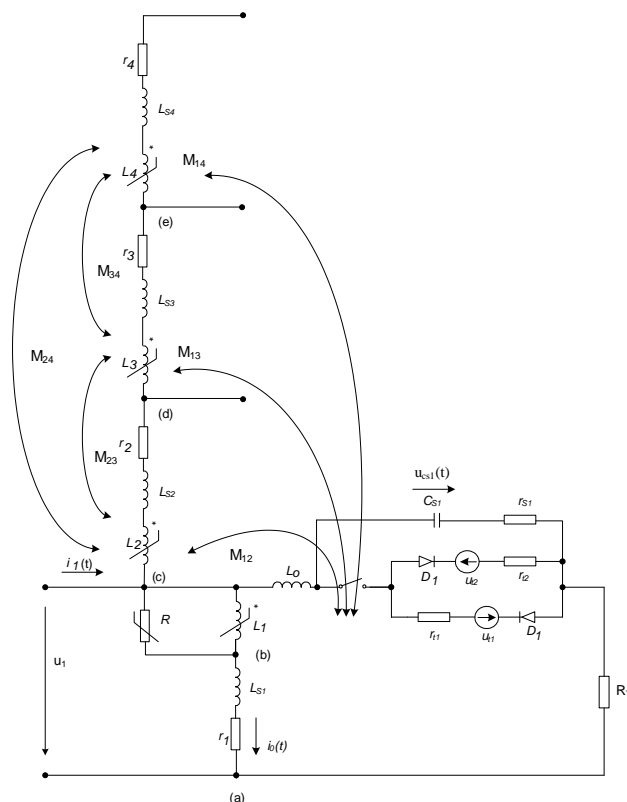
Експерименталните изследвания за THD проведени със специализиран уред за измерване показателите на качеството на електрическата енергия – Fluke 43B са показани в таблица 2.

Табл. 2

Величина	$R_1$	$R_2$	$R_1L$	$R_1C$
$u_{ВХ}$	2,1%	2,1%	2,1%	2,1%
$i_{ВХ}$	2,9%	2,6%	5%	4,2%
$i_{ВХ}$ комутация	5,7%	4,2%	9,4%	15,1%
$u_{ИЗХ}$	2,6%	2,3%	2,8%	2,7%
$i_{ИЗХ}$	2,7%	2,3%	5,6%	4,2%
$i_{ИЗХ}$ комутация	2,2%	2,3%	4,1%	4,1%

Може да се обобщи, че по отношение на стойностите на хармоничните съставлящи и ТНД, и към ЕПМ и към товара са изпълнени стандартните изисквания.

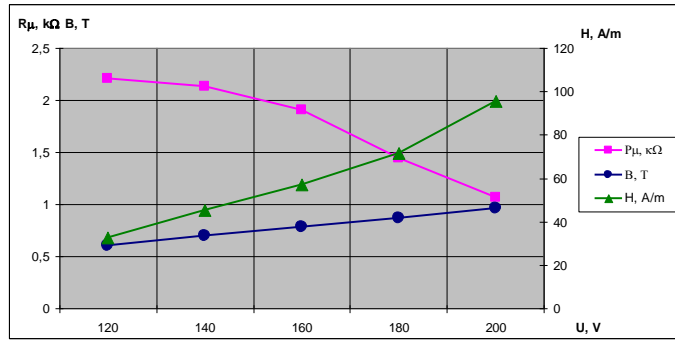
На фиг.10 е показана заместващата схема на автотрансформатора от УДУГПН, а в таблица 3 и фиг.11 са показани експериментално заснетите параметри на елементите от заместващата схема.



Фиг.10. Заместваща схема на автотрансформатор с три волтодобавящи намотки.

Табл. 3

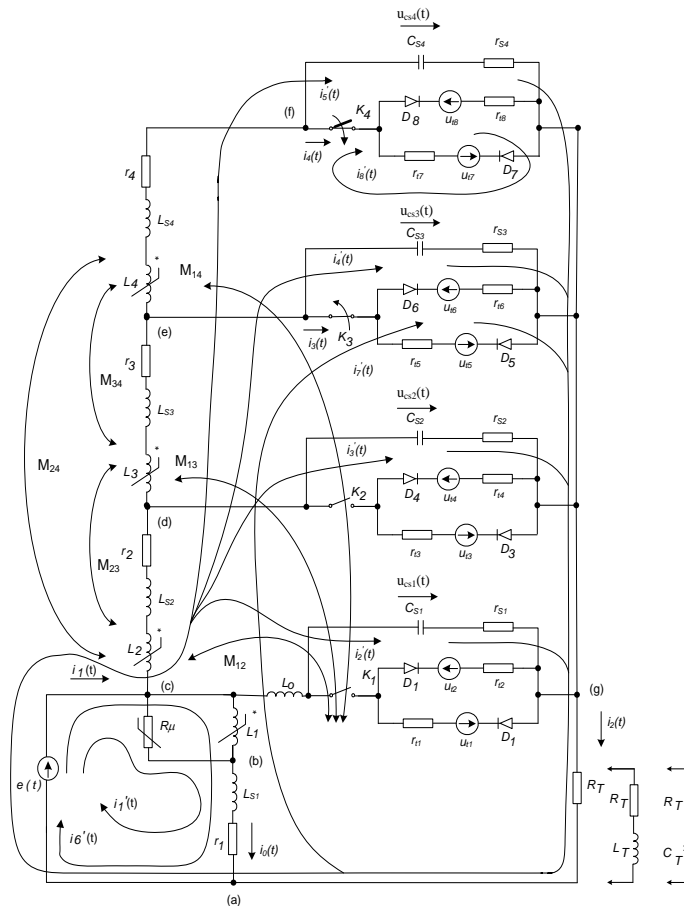
$U_1$	V	140	160	180	200	220
$L_1$	H	4,0774	3,0487	1,9136	1,0883	0,7256
$L_2$	H	0,041910	0,031346	0,019033	0,010883	0,007222
$L_3$	H	0,059702	0,044654	0,027114	0,015941	0,010628
$L_4$	H	0,092278	0,069019	0,043344	0,024640	0,016427
$M_{12}$	H	0,41014	0,30676	0,18938	0,10775	0,07301
$M_{13}$	H	0,48953	0,36614	0,22604	0,13071	0,08714
$M_{14}$	H	0,60860	0,45520	0,28587	0,16251	0,10834
$M_{23}$	H	0,050021	0,037413	0,022717	0,013356	0,008904
$M_{24}$	H	0,062188	0,046513	0,029210	0,016605	0,011070
$M_{34}$	H	0,074224	0,055515	0,03486	0,019819	0,013213



Фиг.11. Зависимости  $R_{\mu}=R_{\mu}(U_1)$ ;  $B=B(U_1)$  и  $H=H(U_1)$  за автотрансформатора от фиг.10.

Трета глава е посветена на разработването на прецизни модели и алгоритми за анализ, които да позволяват точни решения и верни симулации на реакциите на УДУГПН при различни работни режими и аварийни ситуации.

На фиг.12 е показана заместващата схема на УДУГПН с четири УТК.



Фиг.12. Заместваща схема на УДУГПН с четири УТК.

В съответствие с приетия алгоритъм за превключване на УТК математическото описание на този комутационен процес обхваща три интервала. В първия интервал е затворен ключа  $K_x$ , а всички други са отворени; във втория интервал са затворени ключове  $K_x$  и  $K_{x+1}$  ( $K_{x-1}$ ); в третия интервал затворен е само ключът  $K_{x+1}$  ( $K_{x-1}$ ).

Представени са системите уравнения за трите интервала последователно за R-товар, за RL-товар и за RC-товар, като в първия интервал е приложен метода с контурните токове в комплексна форма - системата се решава по метода на Гаус-Джордан; във втория и третия интервали е приложен метода с

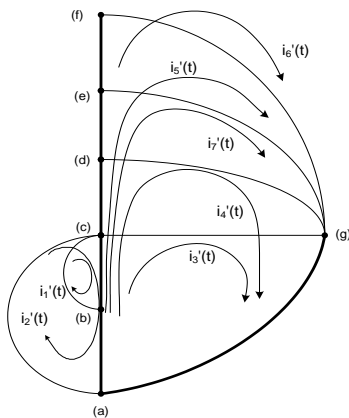
променливите на състоянието, като системите се решават по метода на Рунге-Кута-4 във времева област.

На фиг.13, 14 и 15 са показани графите на веригата за трите интервала на комутационния процес.

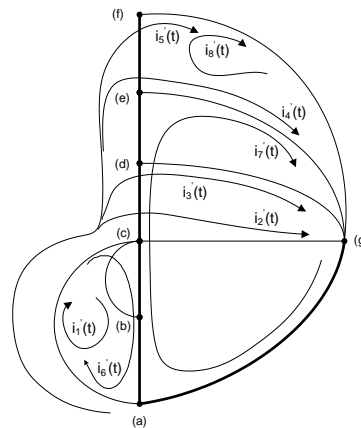
В първия интервал УДУГПН все още работи при установен променливотоков режим, като електрическото равновесие се описва посредством метода с контурните токове в комплексна форма. Броят на независимите контури е седем и системата уравнения се състои от седем уравнения със седем неизвестни. Общият вид на системата има следната матрична форма:

$$[Y_1] \cdot [\dot{I}'] = [\dot{E}], \quad (2)$$

където  $[Y_1]$  е комплексна проводимостна матрица на УДУГПН с размерност 7 реда и 7 колони (т.е.  $7 \times 7$ );  $[I']$  е матрицата-стълб на комплексите на контурните токове  $i_1'; i_2'; \dots; i_7'$  с размерност  $7 \times 1$ ;  $[E]$  е матрицата-стълб на комплексите на контурните е.д.н. с размерност  $7 \times 1$ .

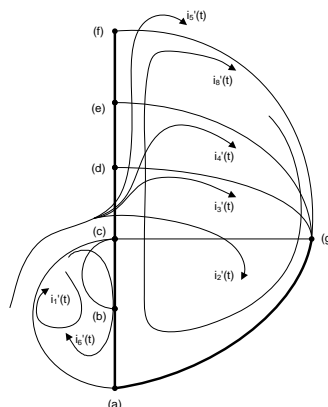


Фиг.13. Граф на веригата за I интервал.



Фиг.14. Граф на веригата за II интервал.

Във втория интервал се наблюдава първият преходен процес в УДУГПН при положение, че ключовете  $K_3$  и  $K_4$  са затворени. Анализът се извършва посредством метода с променливите на състоянието, като осем от променливите на състоянието са контурните токове  $i_1'(t); i_2'(t); \dots; i_7'(t); i_8'(t)$ , а останалите четири са напреженията върху гасящите кондензатори  $u_{cs1}(t); \dots; u_{cs4}(t)$ .



Фиг.15. Граф на веригата за III интервал.



Анализът се провежда във времевата област като системата уравнения съдържа дванадесет уравнения с дванадесет неизвестни. Матрицата на системата уравнения се явява почти особена. Общият матричен вид на системата уравнения е:

$$[A_2] \frac{d}{dt} [x(t)] = [B_2] \cdot [x(t)] + [e_2(t)], \quad (3)$$

където матриците  $[A_2]$  и  $[B_2]$  са с размерности  $12 \times 12$  и се състоят от девет подматрици:

$$[A_2] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix}, \quad [B_2] = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Матриците  $[x(t)]$  и  $[e_2(t)]$  са с размерности  $12 \times 1$ .

$$[x(t)] = \begin{bmatrix} X_{11}(t) \\ \bar{X}_{21}(t) \\ \bar{X}_{31}(t) \end{bmatrix}, \quad [e_2(t)] = \begin{bmatrix} E_{11}(t) \\ \bar{E}_{21}(t) \\ \bar{E}_{31}(t) \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Матрицата  $[x(t)]$  съдържа променливите на състоянието в изброения по-горе ред, а матрицата  $[e_2(t)]$  съдържа входното е.д.н.  $e(t)$  и падовете върху тиристорните ключове  $K_3$  и  $K_4$  и  $u_{t5}$ ,  $u_{t6}$ ,  $u_{t7}$  и  $u_{t8}$  в наситено състояние.

Матриците  $[A_2]$  и  $[B_2]$  са разреждени, т. е. имат над 30% нулеви елементи.

Алгоритъмът който се прилага, за да се избегне факта, че матрицата  $[A_2]$  е почти особена, се състои в разбиването на уравнение (3) на три матрични уравнения, като решенията се получават в поредна последователност. При всяка времева стъпка напред се решават следните матрични уравнения:

$$1) [A_{22}] \frac{d}{dt} [X_{21}(t)] = [B_{22}] \cdot [X_{21}(t)] + [E_{21}(t)], \quad (6)$$

$$2) [A_{11}] \frac{d}{dt} [X_{11}(t)] = [B_{11}|B_{12}|B_{13}] \cdot [X(t)] - [A_{12}] \frac{d}{dt} [X_{21}(t)] + [E_{11}(t)], \quad (7)$$

$$3) [A_{33}] \frac{d}{dt} [X_{31}(t)] = [B_{31}(:,2:5)] \cdot [X_{11}(t)], \quad (8)$$

Полученото решение се замества в последното матрично уравнение:

$$4) [A_{22}] \frac{d}{dt} [X_{21}(t)] = -[A_{21}] \frac{d}{dt} [X_{11}(t)] + [B_{21}|B_{22}] \cdot \begin{bmatrix} X_{11}(t) \\ \bar{X}_{21}(t) \end{bmatrix} + [E_{11}(t)], \quad (9)$$

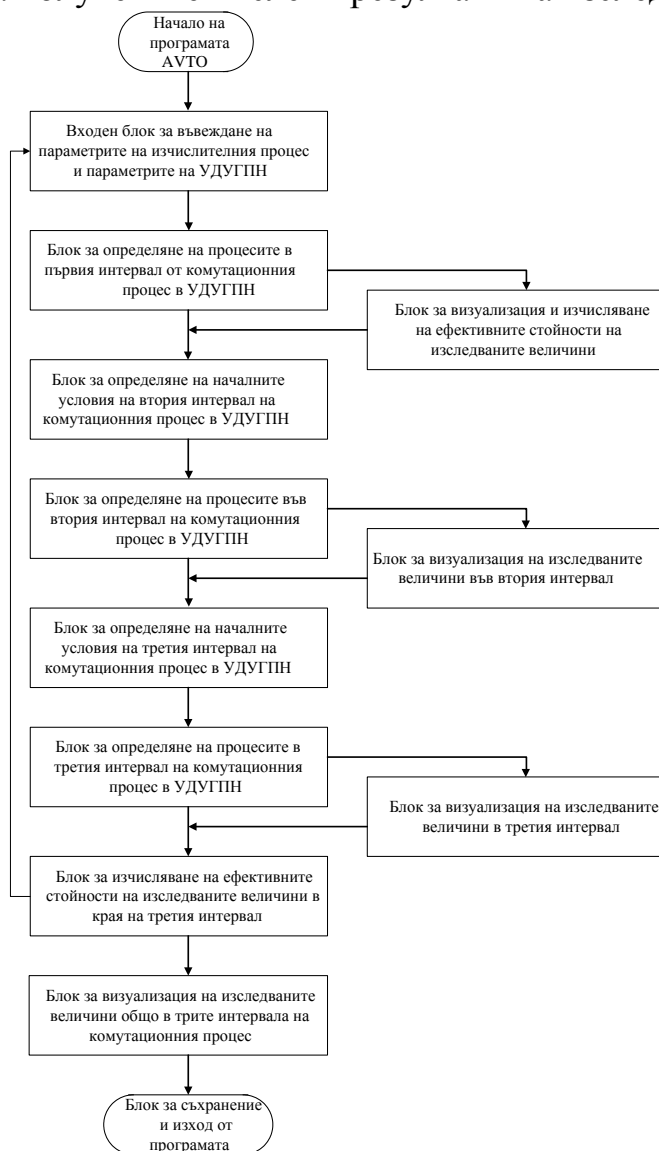
като уравнение (9) се умножава в ляво и дясно с обратната матрица  $[A_{22}]^{-1}$  и след това се прилага метода на Рунге-Кута-4. Полученото решение се замества в уравнение (3), за да се изпълни следващата стъпка напред във времето, а след това отново в уравнения (7), (8) и (9), докато приключи втория интервал и ключа  $K_3$  не се отвори.

Изчислителната процедура оперира с неособени подматрици и получените решения не натрупват грешка във времето на втория подинтервал.

В третия интервал се наблюдава вторият преходен процес, като от всички ключове затворен е само  $K_4$ . Анализът се провежда отново посредством метода с променливите на състоянието във времевата област. Броят на променливите на състоянието е вече единадесет, понеже тук отпада контурния ток  $i_7'(t)$  от

групата неизвестни от предния интервал. Системата уравнения в третия интервал и решението им са аналогични на тези във втория интервал.

Разработена е автоматизираната компютърна програма AVTO – фиг.16 за симулиране процесите в УДУГПН с УТК в компютърната среда MATLAB с оглед на нейната пригодност за извършване на сложни математически изчисления в матричен вид и възможностите ѝ за пространна визуализация в графична форма на получените числени резултати на изследваните величини.



Фиг.16. Блок-схема на компютърната програма „AVTO”.

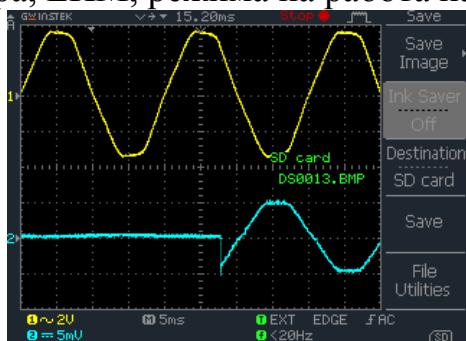
В таблица 4 са представени данните от експерименталното изследване и компютърните симулации с помощта на предложения алгоритъм и програмата AVTO за изследвания УДУГПН в първи интервал при входно напрежение 160V с три различни активно-индуктивни товара.

Табл4.

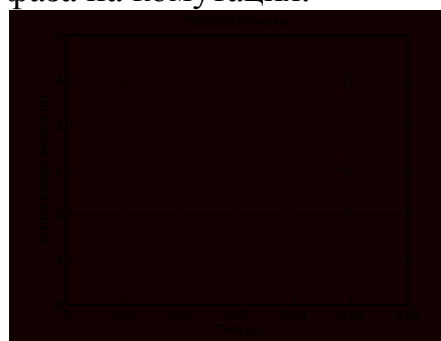
$$L_T=1,0460H$$

$R_T$	Резултати от физическия експеримент					Резултати от компютърните симулации				
	$U_1$	$I_1$	$I_0$	$I_2$	$U_2$	$U_1$	$I_1$	$I_0$	$I_2$	$U_2$
$\Omega$	V	A	A	A	V	V	A	A	A	V
115,8	160	3	0,9	2,05	220,3	160	2,8328	0,8501	1,9918	218,63
61,8	160	5,25	1,43	3,55	220	160	5,0637	1,4422	3,6275	218,40
35,5	160	9,75	2,7	7,03	219,9	160	8,6085	2,3949	6,2175	217,94

На фиг.17 са представени графиките на изследваните величини в трите интервала на комутационния процес на УДУГПН при конкретни параметри на товара, ЕПМ, режима на работа на УДУГПН и фаза на комутация.

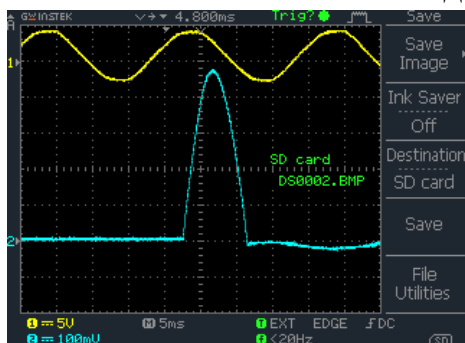


Фиг.17а. Осцилограма на  $i_{кЛ4}(t)$ .

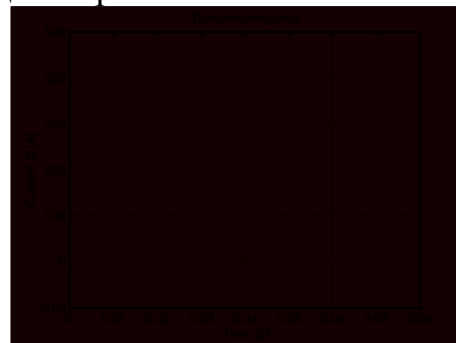


Фиг.17б. Комп. симулация на  $i_{кЛ4}(t)$ .

На фиг.18 може да се проследи „несинхронизирано превключване” при увеличаване големината на входното захранващо напрежение.



Фиг.18а. Осцилограма на  $i_3(t)$ .

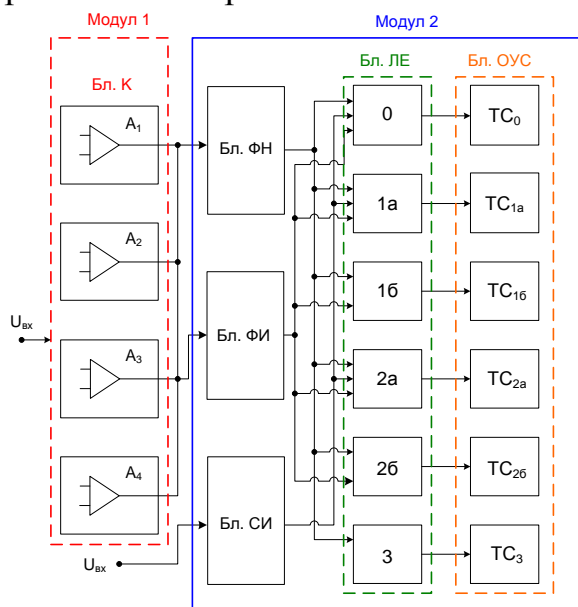


Фиг.18б. Комп. симулация на  $i_3(t)$ .

Моделирането на системата „ЕПМ – УДУГПН – Т” дава възможност за изследвания при обобщаване на конкретиката на електропреносната среда, устройството (УДУГПН) и присъединените товари за реализиране на различни приложни задачи.

**В четвърта глава** са разгледани въпросите свързани със синтеза на схемите за управление на УДУГПН.

За УДУГПН с четири УТК –  $K_0, K_1, K_2,$  и  $K_3$  на фиг.19 е показана блоковата схема за управление на превключването на УТК.



Фиг.19. Блокова схема за управление.

В блоковата схема:

модул 1 – реализира закона за управление на УДУГПН, определяйки момента на превключване и кой УТК следва да се изключи и кой да се включи;

модул 2 – реализира алгоритъма за превключване на УТК;

Бл. К – блок компаратори, включващ четири компаратора;

Бл. ФН – блок формирова̀тел на ниво за превключване на УТК;

Бл. ФИ – блок формирова̀тел на управляващи импулси в съответствие с изменението на състоянието на изхода на компараторите, даващ информация за това дали  $U_{\text{изх}}$  расте или намалява;

Бл. СИ – блок за изработване на синхронизиращи импулси при определен ъгъл спрямо началото на входното захранващо напрежение.

Бл. ЛЕ – блок логически елементи за изработване на управляващ сигнал към оптически управляемите симистори за управление на УТК;

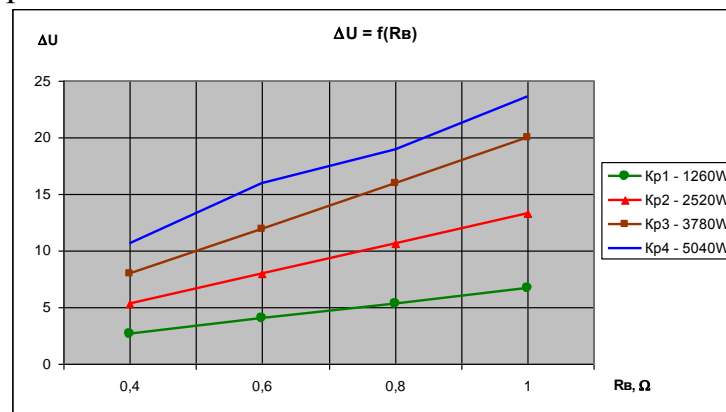
Бл. ОУС – блок оптически управляеми симистори.

Управлението на тиристорните ключове  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  е декомпозирано в две вериги за отделно реализиране на „несинхронизирано превключване” и „синхронизирано превключване”.

В управлението на превключването на УТК е въведена система за управление броя и мощността на присъединените товари, позволяваща приоритетно изключване и включване на определен брой от тях за:

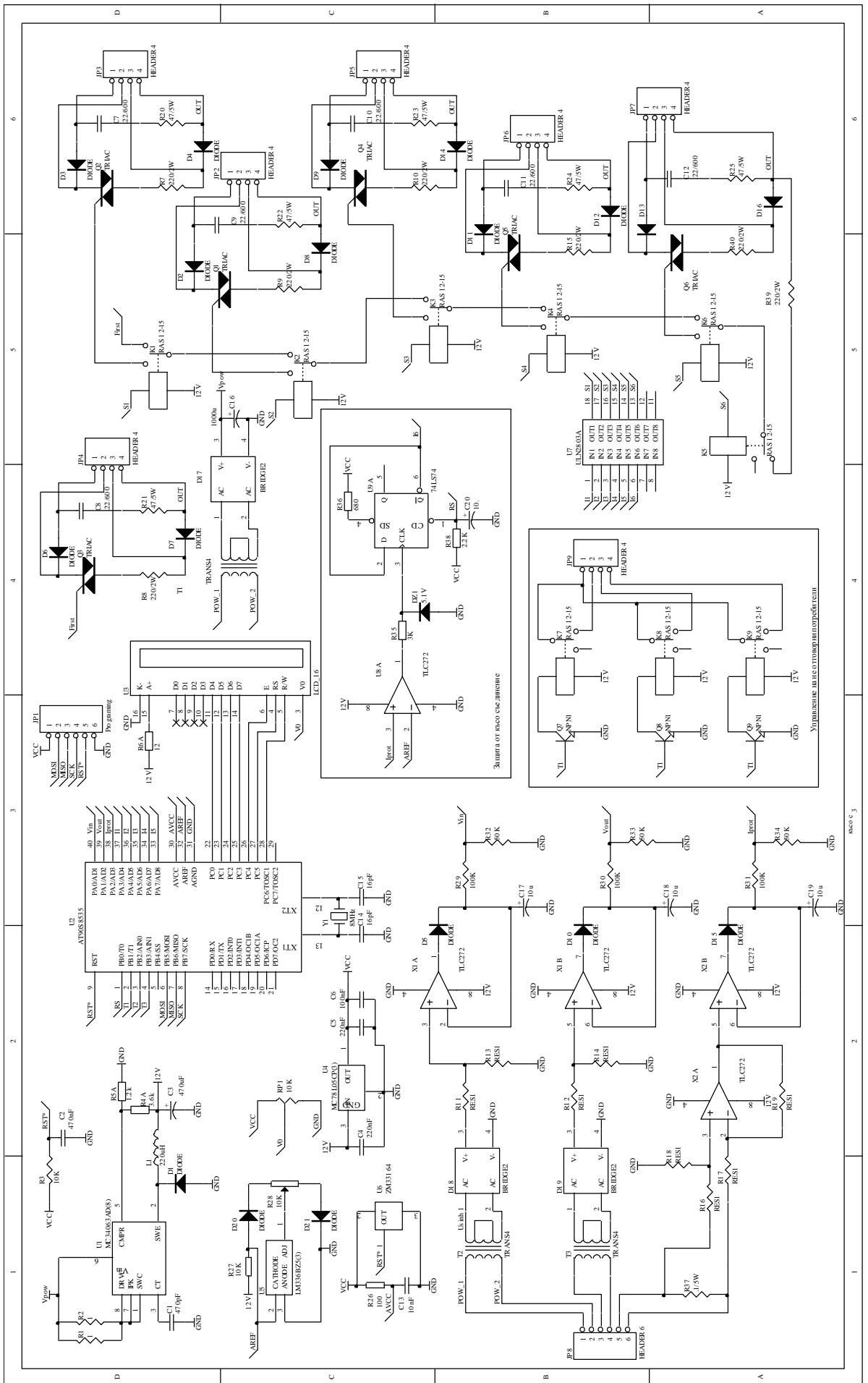
- недопускане токово претоварване спрямо установената токова защита на входа на УДУГПН, породено от режимите на работа на последното, без излишно да се намалява мощността на присъединените след УДУГПН товари;
- повишаване големината на входното захранващо напрежение, чрез разтоварване на ЕПМ в случаите когато големината на напрежението на изхода на УДУГПН е по-малка от допустимата.

На фиг.20 е показано нарастването на големината на входното захранващо напрежение  $\Delta U = f(R_b)$ , където  $R_b$  е вътрешно съпротивление на ЕПМ за случай  $U_m = 135V$  при параметър изключена мощност –  $Kp1 - 1260W$ ;  $Kp2 - 2520W$ ;  $Kp3 - 3780W$  и  $Kp4 - 5040W$ .



Фиг.20. Нарастване големината на входното захранващо напрежение  $\Delta U$  във функция от вътрешното съпротивление  $R_b$  на ЕПМ при параметър изключени мощности.

Целесъобразно е за УДУГПН с до четири УТК, схемата за управление на превключването на последните да се реализира с дискретни елементи, а при по-голям брой УТК с микропроцесорно управление – фиг.21.



Фиг.21. Микропроцесорно управление със система за управление на броя и мощността на присъединените товари.

Проведено е и експериментално изследване на система за управление на броя и мощността на присъединените товари, реализирана с четириканална схема за радио управляем контрол тип: „Wireless switch – Y-A4E”. Устойчиво превключване на товарите за реализация на управление на товарите е осъществено при разстояние на блоковете (предавател и приемник) до 25м. Разстоянието не следва да се приема за ограничено, поради голямото разнообразие от подобни схеми.

Въвеждането на система за управление броя и мощността на присъединените след УДУГПН товари е новост, разширяваща обхвата на приложение на последните и защитена със свидетелство за полезен модел.

## **ОСНОВНИ РЕЗУЛТАТИ ОТ РАБОТАТА**

### **НАУЧНИ ПРИНОСИ**

1. Получаване на нови научни факти. Обогаляване на съществуващите знания.

1.1 Предложен е подобрен алгоритъм базиран на декомпозиране управлението на превключването на УТК, отнасящо се към изменението на големината на входното захранващо напрежение – намаляване или нарастване, при което:

- в първия случай се реализира „несинхронизирано” (в определения момент) превключване и принудителна комутация на проводящия тиристор от УТК, който следва да се изключи;
- във втория случай се реализира „синхронизирано” (след определения момент) превключване, при закъснение до 10mS. Синхронизацията се извършва с определен ъгъл от синусоидата на входното захранващо напрежение.

С подобрения алгоритъм се постига съчетаване на бързодействие при несинхронизираното превключване и премахване на претоварването в режим на комутация спрямо установения режим на елементите от силовата верига при синхронизираното превключване. Синхронизирането с входното захранващо напрежение премахва потребността от отделни сензори за нулата на тока във веригите на отделните УТК.

Декомпозирането на управлението на превключване е новост, защитена със свидетелство за полезен модел.

1.2. Предложена е система за управление на броя и мощността на присъединените товари към изхода на УДУГПН, която:

- ограничава токовото претоварване на ЕПМ, възникващо във функция от режима на работа на УДУГПН, изменящ се при превключването на УТК;
- позволява работа на УДУГПН и при големина на входното захранващо напрежение под минимално допустимата гарантираща параметрите на входа на товарите, т.е. разширява диапазона на функционално действие на УДУГПН.

Въвеждането на система за управление броя и мощността на присъединените товари е новост, защитена със свидетелство за полезен модел.

УДУГПН са силови електронни преобразуватели разположени между ЕПМ и товара. Работят в установен и комутационен режими (превключване изводите на автотрансформатор под товар). В силовата им верига са включени нелинейни елементи. Оразмеряването и работата им зависят от параметрите на ЕПМ и товара, но при промяна на режима им на работа УДУГПН обратно въздейства и променя някои параметри на ЕПМ.

Следователно анализът на електрическите процеси следва да се извършва при моделиране на системата „ЕПМ – УДУГПН – Т”.

1.3. Предложени са математически модели за установен и преходен (при комутация на УТК) режими на системата „ЕПМ – УДУГПН – Т” при обхващане:

- за ЕПМ на физическите параметри (трансформатор СН/НН, геометрия и дължина на ЕПМ, тип на кабелите или проводниците за кабелна или въздушна ЕПМ; режим на работа на ЕПМ – натоварване, симетрично, несиметрично,  $\cos\phi$ ;
- за УДУГПН – структура и елементи (отчита се и нелинейността им) на силовата верига, алгоритъм за превключване на УТК, ъгъл на начало на комутационния процес;
- за товара – големината и характер на последния.

Математическите модели позволяват многофакторен компютърен симулационен анализ при отчитане спецификата за решаване на различни приложни задачи.

Резултатите от анализа на електрическите процеси в установен режим дават възможност да се определи диапазона на изменение на големината на входното напрежение, и от тук да се определят мощността на автотрансформатора, броя на изводите му (броя на УТК) и напреженията на превключване на УТК. Последните се използват при анализа на електрическите процеси в преходен режим, в следствие комутация на УТК и се определят продължителността и големината на натоварването на елементите от силовата верига при комутация, както и големината на възникващите комутационни пренапрежения.

Комутацията на УТК включва три етапа – един установен и втори и трети преходни режима. Последните два режима се описват със системи от 11-12 диференциални уравнения, които се представят с матрично уравнение. Основната му матрица е разрежена и почти особена, което води до грешки при стандартния подход за решаване.

1.4. Предложен е специализиран алгоритъм, при който:

- матричното уравнение се разделя на три матрични уравнения, чиито подматрици са неособени;
- последователно се решават трите уравнения, а след това и основното матрично уравнение, като резултатите от решението на първото се използват при решение на второто и т.н.;
- за всяка времева стъпка се използват предиктор (приблизително решение) и коректор по метода Рунге-Кута 4.

Стабилността на решенията получени по този алгоритъм не зависят от фазата на комутация, големината и характера на товара.

Алгоритъмът е новост при решаването на матрични уравнения, чиято матрица е разредена и почти особена.

1.5. Проведено е многофакторно сравнително изследване между резултатите от компютърните симулации и физически експерименти върху образец на УДУГПН, при отчитане големината на входното захранващо напрежение, големината и характера на товара и фазата на начало на комутационния процес за оценка достоверността на математическия модел.

Средно аритметичните стойности на относителната абсолютна грешка за входния ток  $I_{вх}=I_1$ , тока през товара  $I_T=I_2$  и напрежението върху товара  $U_T=U_2$  са съответно 2,8%, 2,8% и 0,84%, т.е. компютърните симулации достатъчно точно отразяват реално развиващите се електрически процеси и дават възможност за оразмеряване на УДУГПН за различни приложения.

## **НАУЧНО ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ**

2.1. Разработен е стенд за експериментално изследване параметрите на комутационните процеси в дискретните регулатори на променливи напрежения при различен характер и големина на товара, позволяващ реализацията на „синхронизирано” или „несинхронизирано” управление на полупроводниковите тиристорни ключове; плавно изменение на фазата на началото на комутационния процес и превключване при увеличаване или намаляване големината на захранващото напрежение.

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

- внедрените до 1998г. са с изцяло 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 се реализират и със система за управление на броя и мощността на присъединените товари.

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

2.3.1. НППГ-20/98г. Разработване и изработване на гама-стабилизатори за променливо напрежение с мощност от 2,5 до 15kVA.

2.3.2. Тема 1392/1998г. Стабилизатори за селски автоматични телефонни централи. Възложител ЕЛТА-Р. Мощност 2kVA. Становище №006/ 21.04.2004г.

2.3.3. НППГ-20/1999г. Стабилизатор за променливо напрежение. Възложител ЕТ „Малери”. Мощност 14kVA.

2.3.4. НППГ-20/2000г. Еднофазен регулатор на напрежение. Възложител ЕТ „Станка Василева”. Мощност 14kVA.

2.3.5. НППГ-20/2000г. Изработване на четири броя стабилизатори на напрежение „Хидроремонт” ООД. Мощност 15kVA.

2.3.6. НППГ-20/2001г. Трифазен стабилизатор на променливо напрежение с мощност 48kVA. Възложител ЕТ „Иванов”.



2.3.7. Договор ВТП-ТУВ-20.06.2013г. Изработване на автотрансформаторен дискретен регулатор на променливо напрежение 14kVA. Възложител „Журналови 2008” ООД.

Широката експериментална база, каквито са цитираните по-горе внедрени разработки е и оценка за приложимостта на избрания подход, точността на предложените математически модели и достоверността на резултатите от теоретичния анализ.

## **ОСНОВНИ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИЯТА**

### **Монография**

1. Barudov S., **Barudov E.**, Discrete alternating current regulators and stabilizers. Pensoft, 2006, ISBN 978-954-642-276-7, Chapter II, pp.17÷27.

### **Публикации в списания**

2. **Barudov E.**, Barudov S., Panov E., Switching Processes in a Step Voltage Regulator. Acta Universitatis Pontica Euxinus – Volume IV, Number 1, 2005, pp.21÷25, ISSN 1312-1669.
3. **Barudov E.**, Panov E., Barudov S., Analysis of Electrical Processes in Alternating Voltage Control Systems. Journal of International Scientific Publication: Materials, Methods & Technologies, 2010, Vol. 4, Part 1, pp.154÷182, ISSN 1313-2539.
4. **Barudov, E.**, Experimental Study of the Commutation Processes in Discrete Alternating Voltage Regulator. Journal of International Scientific Publications, Materials, Methods and Technologies, 2012, Vol.6, Part 2, pp.408÷424, ISSN 1313-2539.

### **Публикации в университетски периодични издания**

5. **Барудов Е.**, Панов Е., Барудов С., Изследване на прецизен нелинеен модел на автотрансформаторен дискретен регулатор на напрежение с полупроводникови комутиращи елементи. Годишник на Технически Университет – Варна, ISSN 1311-896X, 2007, стр.3÷9.

### **Публикации на международни конференции**

6. Barudov S., **Barudov E.**, Voltage Regulators in Limited – Power Networks. MEET/MARIND 2002, Volume IV, pp.101÷106, ISBN 954-20-0214-9.
7. Barudov S., **Barudov E.**, The Influence of Load on Commutation (Switching) Process Parameters in AC Voltage Switch Type Regulator. Buletinul Universitatii Petrol-Gaze din Ploesti, Volum LVII, Number 2/2005, pp.107÷112, ISSN 1221-9371.
8. **Барудов Е.**, Панов Е., Барудов С., Сравнително изследване на комутационните процеси в автотрансформаторен дискретен стъпален регулатор на напрежение. ELMA 2011, стр.55÷60, ISSN 1313-4965.

### **Свидетелство за регистрация на полезен модел**

9. Барудов С., Панов Е., **Барудов Е.**, Иванова М., „Дискретен стабилизатор на променливо напрежение”, BG1727 U1 от 07.08.2013.